LAS REGLAS DEL CONTAGIO

Cómo surgen, se propagan y desaparecen las epidemias



ADAM KUCHARSKI

Capitán Swing

LAS REGLAS DEL CONTAGIO

Cómo surgen, se propagan y desaparecen las epidemias



ADAM KUCHARSKI

Capitán Swing

LAS REGLAS DEL CONTAGIO

Cómo surgen, se propagan y desaparecen las epidemias

ADAM KUCHARSKI

Traducción de

Francisco Herreros

Capitán Swing

LAS REGLAS DEL CONTAGIO

Cómo surgen, se propagan y desaparecen las epidemias

A Emily

LAS REGLAS DEL CONTAGIO

Introducción

Hace unos pocos años, provoqué accidentalmente un pequeño brote de información falsa. En mi trayecto diario al trabajo, un amigo informático me envió una foto de archivo de un grupo de personas con pasamontañas inclinadas en torno a una mesa. Nos pusimos a bromear acerca de cómo en las noticias los artículos sobre el pirateo informático a menudo incluían fotos preparadas de gente de aspecto malvado. Pero esta foto, debajo de un titular sobre los mercados ilegales *online* , llegaba mucho más lejos: además de pasamontañas, había una pila de drogas, y un hombre que parecía no llevar pantalones. Parecía todo muy surrealista, muy inexplicable.

Decidí tuitearlo. «Esta foto es fascinante en muchos sentidos», escribí, [1] señalando todas las peculiaridades de la imagen. Los usuarios de Twitter parecieron estar de acuerdo, y en pocos minutos docenas de personas habían compartido y dado «me gusta» a mi mensaje, incluidos varios periodistas. Y entonces, justo cuando estaba empezando a preguntarme hasta dónde se iba a propagar, algunos usuarios señalaron que había cometido un error. No era una foto de archivo; era una imagen congelada de un documental sobre comercio de drogas en las redes sociales. Lo que, visto desde la distancia, tiene mucho más sentido (aparte de la ausencia de pantalones).

Un poco avergonzado, colgué una rectificación, y el interés pronto decayó. Pero incluso en ese corto espacio de tiempo, casi cincuenta mil personas habían visto mi tuit. Dado que mi trabajo es el análisis de los brotes epidémicos, me entró curiosidad sobre lo que acababa de suceder. ¿Por qué mi tuit se propagó tan rápidamente al principio? ¿Realmente fue la rectificación lo que frenó su propagación? ¿Qué habría ocurrido si hubiese pasado más tiempo antes de que alguien descubriese el error?

Preguntas de ese tipo afloran continuamente en muchos campos. Cuando pensamos en el contagio, tendemos a imaginarnos enfermedades infecciosas

o contenido viral *online* . Pero los brotes pueden referirse a muchas cosas. Pueden implicar cosas que causan daño —como virus informáticos, violencia o crisis financieras— o beneficios —como las innovaciones y la cultura—. Algunos de esos brotes comenzarán con infecciones tangibles, como en el caso de los patógenos biológicos y los virus informáticos; otros con ideas y creencias abstractas. En algunos casos los brotes escalarán rápidamente; en otras ocasiones tardarán en crecer. Algunos crearán patrones inesperados, y, mientras esperamos a ver qué ocurre a continuación, estos patrones generarán conmoción, curiosidad o incluso miedo. Teniendo todo esto en cuenta, una pregunta obvia es: ¿por qué los brotes surgen —y decaen— de la forma en que lo hacen?

Cuando la Primera Guerra Mundial ya duraba tres años y medio, apareció una nueva amenaza letal. Mientras el ejército alemán lanzaba su Ofensiva de Primavera en Francia, al otro lado del Atlántico había empezado a morir gente en Camp Funston, una transitada base militar situada en Kansas. La causa era un tipo nuevo de virus de la gripe, que posiblemente había saltado de los animales a los humanos de una granja cercana. Durante 1918 y 1919, la infección se convertiría en una epidemia global —conocida también como pandemia— que mataría a alrededor de cincuenta millones de personas. La cifra final de muertes sería el doble de la de toda la Primera Guerra Mundial. [2]

A lo largo del siglo siguiente habría otras cuatro pandemias de gripe. Antes de la aparición de la COVID-19, la gente a veces me preguntaba: ¿cómo será la próxima pandemia? Desgraciadamente era difícil de decir, porque las anteriores pandemias de gripe han sido todas ligeramente distintas. Ha habido distintas cepas del virus, y los brotes han golpeado con mayor dureza algunos sitios que otros. De hecho, en mi área de investigación tenemos un dicho: «Si has visto una pandemia, entonces has visto… una pandemia». [3]

Nos enfrentamos al mismo problema ya estemos estudiando la expansión de una enfermedad, un patrón *online* o cualquier otra cosa; un brote no se parecerá necesariamente a otro. Lo que necesitamos es una forma de separar las características que sean específicas de un brote particular de los principios subyacentes que llevan al contagio, una forma de ir más allá de las explicaciones simplistas y de descubrir qué está realmente detrás de los patrones que observamos en los brotes.

Este es el objetivo del libro. Al explorar contagios en diferentes esferas de la vida, entenderemos qué es lo que hace que las cosas se propaguen y por qué los brotes adoptan unas formas determinadas. Al mismo tiempo, veremos las conexiones emergentes entre problemas aparentemente no relacionados: desde las crisis bancarias, la violencia con armas de fuego y las noticias falsas hasta la evolución de las enfermedades, la adicción a los opiáceos y la desigualdad social. Además de explorar aquellas ideas que nos pueden ayudar a enfrentarnos a los brotes, nos detendremos en esas situaciones poco frecuentes que están cambiando la forma en la que pensamos en los patrones de infecciones, creencias y comportamiento.

Empecemos con la forma de un brote. Cuando los investigadores de las enfermedades nos enteramos de la existencia de una nueva amenaza, una de las primeras cosas que hacemos es dibujar lo que denominamos una curva del brote —una gráfica que muestra cuántos casos han aparecido a lo largo del tiempo—. Aunque su forma puede variar mucho, normalmente incluirá cuatro estadios principales: estallido inicial, crecimiento, pico y declive. En algunos casos, estos estadios aparecerán varias veces; cuando la pandemia de la «gripe aviar» llegó al Reino Unido en abril de 2009, creció rápidamente a comienzos del verano, alcanzó un pico en julio y después creció y alcanzó un nuevo pico a finales de octubre (descubriremos por qué en capítulos posteriores del libro).

A pesar de la existencia de estos diferentes estadios de un brote, la atención a menudo se circunscribe al estallido inicial. La gente quiere saber por qué escaló el brote, cómo empezó y quién fue el responsable. Retrospectivamente, es tentador conjurar explicaciones y narrativas, como si el brote hubiese sido inevitable y pudiese suceder de nuevo y de la misma manera. Pero si simplemente enumeramos las características de infecciones o patrones que han tenido éxito, terminaremos con una imagen incompleta de cómo funcionan realmente los brotes. La mayoría de las cosas no empiezan con un estallido: por cada virus de la gripe que salta de los animales a los humanos y se propaga al mundo entero en forma de pandemia, hay millones que no infectan a nadie. Por cada tuit que pasa a ser viral, hay muchos más que no lo consiguen.

Incluso aunque un brote estalle, eso es solo el comienzo. Intente imaginar la forma de un brote en particular. Podría tratarse de una enfermedad epidémica, o de la propagación de una idea nueva. ¿A qué velocidad crece?

¿Por qué crece tan rápidamente? ¿Cuándo alcanza su pico? ¿Hay solo un pico? ¿Cuánto dura la fase de declive?

En lugar de aproximarnos al estudio de los brotes en términos de si estallan o no, necesitamos saber cómo medirlos y cómo predecirlos. Tomemos por ejemplo la epidemia de ébola de 2014 en África Occidental. Después de propagarse a Sierra Leona y Liberia desde Guinea, los casos empezaron a aumentar drásticamente. Los análisis iniciales llevados a cabo por nuestro equipo sugerían que la epidemia se estaba doblando cada dos semanas en las áreas más afectadas. [4] Esto quería decir que, si actualmente había cien casos, podría haber doscientos más en una quincena y otros cuatrocientos en un mes. Por ello, las agencias sanitarias debían responder rápidamente: cuanto más tardasen en combatir la epidemia, mayores esfuerzos de contención de esta serían necesarios. En suma, esto suponía que abrir un nuevo centro de tratamiento de la enfermedad de manera inmediata equivalía a abrir cuatro un mes después.

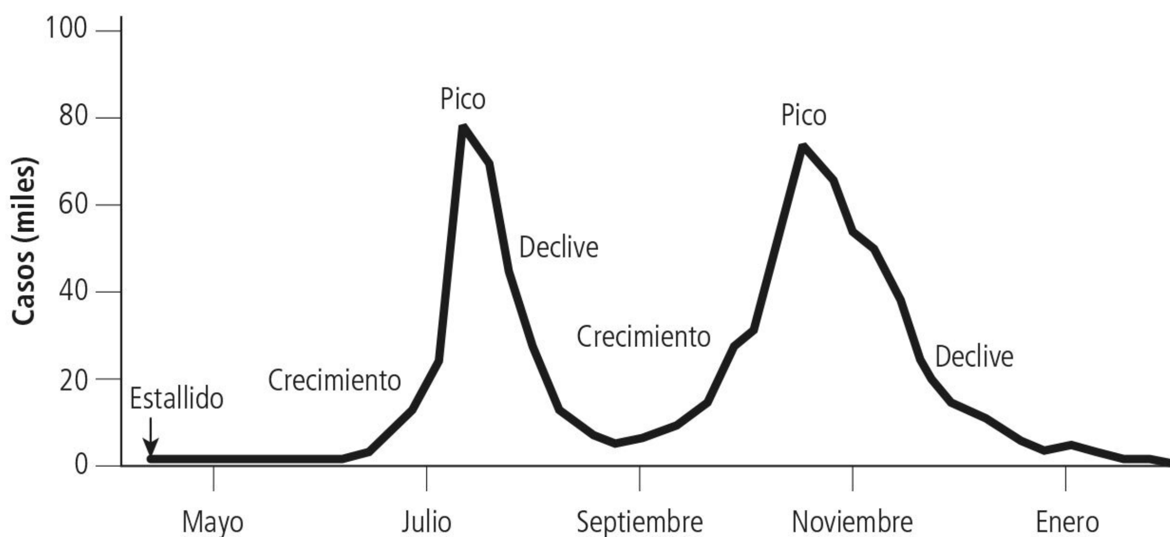


Figura 1. Pandemia de gripe en el Reino Unido, 2009. Fuentes: Eames, K. T. D. et al., «Measured dynamic social contact patterns explain the spread of H1N1V Influenza», *PLOS Computational Biology* , 2012; Agencia de Protección de la Salud, *Epidemiological report of pandemic* (H1N1) 2009 in the UK, Londres, 2010.

Algunos brotes crecen a una escala aún más rápida. En mayo de 2017, el virus informático WannaCry infectó ordenadores en todo el mundo, incluidos sistemas cruciales del Servicio Nacional de Salud británico. En sus estadios iniciales, el ataque duplicaba su magnitud casi cada hora, y

finalmente afectó a más de doscientos mil ordenadores en ciento cincuenta países. [5] Otros tipos de tecnología tardan más en propagarse. Cuando las grabadoras de vídeo se popularizaron, a comienzos de la década de 1980, el número de propietarios de estas solo se duplicaba cada cuatrocientos ochenta días, aproximadamente. [6]

Además de la velocidad, hay que considerar el tamaño: un contagio que se propaga rápidamente no necesariamente provoca un brote mayor. ¿Qué es lo que hace que un brote alcance un pico? ¿Y qué ocurre tras ese pico? Es esta una cuestión muy relevante para muchas industrias, desde las finanzas y la política a la tecnología y la salud. No obstante, no todo el mundo tiene la misma actitud hacia los brotes. Mi mujer trabaja en publicidad; mientras que mi investigación intenta detener la transmisión de enfermedades, ella quiere que las ideas y los mensajes se propaguen. Aunque parecen enfoques muy diferentes, es cada vez más plausible medir y comparar el contagio entre industrias, empleando ideas de un área de la vida para ayudarnos a comprender otra. A lo largo de los siguientes capítulos, veremos cómo las crisis financieras son similares a las infecciones de transmisión sexual, por qué a los investigadores de enfermedades les resulta tan fácil predecir juegos como el desafío del cubo de agua helada, y cómo ideas empleadas para erradicar la viruela nos ayudan a erradicar la violencia con armas de fuego. También echaremos un vistazo a las técnicas que podemos emplear para ralentizar las transmisiones o —en el caso de la publicidad— promoverlas.

Nuestros conocimientos sobre los contagios han progresado drásticamente en los últimos años, y no solo en mi campo, la investigación de las enfermedades. Mediante datos detallados sobre interacciones sociales, los investigadores están descubriendo cómo la información puede evolucionar para hacerse más persuasiva y susceptible de ser compartida con otras personas, por qué algunos brotes no cesan de alcanzar picos —como en el caso de la pandemia de gripe de 2009— y cómo conexiones entre amigos distantes del tipo «qué pequeño es el mundo» pueden ayudar a que ciertas ideas se propaguen ampliamente (y, no obstante, también obstaculizan la propagación de otras). Al mismo tiempo, estamos aprendiendo más sobre cómo surgen y se propagan los rumores, por qué algunos brotes son más difíciles de explicar que otros y cómo los algoritmos *online* influyen en nuestras vidas e invaden nuestra privacidad.

Como resultado de todo ello, ideas derivadas de la ciencia que estudia los brotes están ayudando a combatir amenazas en otros campos. Los bancos centrales están empleando estos métodos para prevenir futuras crisis financieras, y las empresas tecnológicas están construyendo nuevas defensas contra programas informáticos dañinos. Al mismo tiempo, los investigadores están poniendo en cuestión ideas muy asentadas acerca de cómo funcionan los brotes. En materia de contagios, la historia nos ha mostrado que las ideas acerca de cómo las cosas se propagan no siempre se ven refrendadas por la realidad. Las comunidades medievales, por ejemplo, culpaban de la naturaleza esporádica de los brotes a influencias astrológicas; *gripe* significa «influencia» en italiano. [7]

Las explicaciones populares de los brotes siguen siendo descartadas por los descubrimientos científicos. Estos descubrimientos están desentrañando los misterios de los contagios, enseñándonos cómo evitar las anécdotas simplistas y las soluciones ineficaces. Pero, a pesar de estos progresos, la cobertura de los brotes sigue siendo vaga: simplemente nos enteramos de que algo es contagioso o de que se ha vuelto viral. Solo en raras ocasiones se nos dice por qué se ha expandido tan rápidamente (o tan lentamente), qué ha hecho que alcance un pico, o qué deberíamos esperar la próxima vez. Ya estemos interesados en propagar ideas e innovaciones, o en detener virus o violencia, necesitamos identificar qué es lo que explica el contagio. Y en ocasiones eso significa reconsiderar todo lo que pensábamos que sabíamos sobre una infección.

---

[1] Tuit original, que tuvo un total de 49.090 impresiones. Como es lógico, varios usuarios posteriormente lo «destuitearon»: https://twitter.com/AdamJKucharski/status/885799460206510080. (Por supuesto, un número alto de impresiones no suponen necesariamente que los usuarios leyesen el tuit, como veremos en el capítulo 5).

[2] Información sobre la pandemia de 1918: Barry, J. M., «The site of origin of the 1918 influenza pandemic and its public health implications», *Journal of Translational Medicine* , 2004; Johnson, N. P. A. S. y J. Mueller, «Updating the accounts: global mortality of the 1918-1920 "Spanish" influenza pandemic», *Bulletin of the History of Medicine* , 2002; «World War One casualty and death tables», PBS, octubre de 2016, https://www.uwosh.edu/faculty_staff/henson/188/WWI_Casualties%20andDeaths%20%PBS.html . Nótese que recientemente han aparecido otras teorías sobre la fuente de la pandemia de gripe de 1918. Algunas de ellas argumentan que su aparición fue muy anterior a lo que hasta ahora se

pensaba, p. ej., Branswell, H., «A shot-in-the-dark email leads to a century-old family treasure—and hope of cracking a deadly flu's secret», *STAT News* , 2018.

[3] Ejemplos de este dicho en los medios de comunicación: Gerstel, J., «Uncertainty over H1N1 warranted, experts say», *Toronto Star* , 9 de octubre de 2009; Osterholm, M. T., «Making sense of the H1N1 pandemic: what's going on?», Center for Infectious Disease Research and Policy, 2009.

[4] Otros grupos alcanzaron conclusiones similares, p. ej., Equipo de Respuesta al Ébola de la OMS, «Ebola virus disease in West Africa—The first 9 months of the epidemic and forward projections», *New England Journal of Medicine* , 2014.

[5] «Ransomware cyber-attack: who has been hardest hit?», BBC News Online, 15 de mayo de 2017; «What you need to know about the WannaCry Ransomware», Symantec Blogs, 23 de octubre de 2017. Los intentos de ataque a ordenadores pasaron de dos mil a ochenta mil en siete horas, implicando un tiempo de duplicación = $7/\log_2$ (80.000- 2.000)= 1,32 horas.

[6] «Media Metrics #6: The Video Revolution», The Progress & Freedom Foundation Blog, 2 de marzo de 2008, http://blog.pff.org/archives/2008/03/print/005037.html. Su incorporación a los hogares pasó del 2,2 por ciento en 1981 al 18 por ciento en 1985, lo que implicaba un tiempo de duplicación = 365 x $4/\log_2$ (0,18/0,02) = 481 días.

[7] «Etymologia: influenza» [*gripe* , en inglés *(N. del T.)*], *Emerging Infectious Diseases* , 12(1), 2006, p. 179.

01

Una teoría de los eventos

Cuando tenía tres años, perdí la capacidad de andar. Al principio fue algo gradual: problemas para levantarme por aquí, pérdida de equilibrio por allá. Pero la cosa pronto empeoró. Las distancias cortas se hacían eternas, y las pendientes y las escaleras, misión imposible. Un viernes por la tarde de abril de 1990, mis padres me llevaron a mí y a mis endebles piernas al Royal United Hospital de Bath. A la mañana siguiente estaba siendo examinado por un neurólogo. El primer sospechoso era un tumor en la médula espinal. Pasaron varios días de pruebas: rayos X, muestras de sangre, estimulación nerviosa y una punción lumbar para extraer fluido de la médula. A medida que iban llegando los resultados, el diagnóstico fue evolucionando hasta una enfermedad rara conocida como síndrome de Guillain-Barré (SGB). Llamado así por los neurólogos franceses Georges Guillain y Jean Alexandre Barré, el SGB es el resultado de un sistema inmunitario disfuncional. En lugar de proteger mi cuerpo, había empezado a atacar los nervios, propagando la parálisis.

A menudo la suma de toda la sabiduría humana se encuentra, tal como dijo el escritor Alexandre Dumas, en las palabras «esperar y tener esperanza». [8] Y este iba a ser mi tratamiento, esperar y tener esperanza. Les dieron a mis padres una serpentina multicolor para comprobar mi capacidad respiratoria (no había un equipamiento de tamaño adecuado para un niño pequeño). Si la serpentina no se desplegaba cuando soplase, quería decir que la parálisis había alcanzado a los músculos que bombeaban aire a mis pulmones.

Hay una foto mía de esa época en la que aparezco sentado en el regazo de mi abuelo. Él está en una silla de ruedas. Enfermó de polio en la India a los veinticinco años y desde entonces no había vuelto a caminar. Mis recuerdos suyos son siempre así, sus fuertes brazos impulsando la silla de ruedas y a

sus piernas inertes. En cierto sentido, eso introducía cierta familiaridad en una situación muy poco familiar. Y, no obstante, lo que nos unía era también lo que nos separaba. Compartíamos un síntoma, pero la huella que le había dejado la polio era permanente; el SGB, a pesar de todo el dolor que ocasionaba, era normalmente una condición temporal.

Así que esperamos y mantuvimos la esperanza. La serpentina nunca dejó de desenrollarse, y comenzó una larga recuperación. Mis padres me dijeron que SGB pasó a significar «mejorando lentamente». [9] Pasaron doce meses hasta que pude volver a andar, y otros doce hasta que pude lograr algo parecido a una carrera. Mi equilibrio se resentiría durante años.

A medida que mis síntomas desaparecían, también lo hacían mis recuerdos. Todo el episodio pasó a ser algo distante, perteneciente a una vida anterior. Dejé de recordar que mis padres me daban botones de chocolate antes de las inyecciones. O cómo llegó un momento en que me negaba a tomarlos —incluso en un día normal— por miedo a lo que vendría después. Los recuerdos del juego del pillapilla en la escuela primaria a la hora de comer, en el que, siendo mis piernas todavía demasiado endebles, siempre me pillaban, también se han desvanecido. Durante los veinticinco años posteriores a mi enfermedad, nunca hablé del SGB. Terminé la escuela, fui a la universidad, terminé mi doctorado. El SGB me parecía algo demasiado raro, demasiado incomprensible para referirme a ello. ¿Guillain qué? ¿Barré quién? La historia de mi enfermedad, que nunca había contado a nadie, era para mí algo del pasado.

Aunque en realidad no lo era. En 2015 estaba en Suva, la capital de Fiyi, cuando me volví a encontrar con el SGB, en esta ocasión debido a mi profesión. Estaba ahí para ayudar en la investigación de una reciente epidemia de fiebre del dengue. [10] El virus del dengue, que es transmitido por mosquitos, causa brotes esporádicos en islas como Fiyi. Aunque los síntomas son normalmente suaves, el dengue puede verse acompañado por una fuerte fiebre, que potencialmente puede llevar a la hospitalización. Durante los primeros meses de 2014, alrededor de veinticinco mil personas que temían estar afectadas por el dengue acudieron a centros de salud en Fiyi, lo que sobrecargó enormemente el sistema sanitario.

Si al pensar en Suva se imagina una oficina situada en una soleada playa, se equivoca. A diferencia de la parte occidental de Fiyi, abarrotada de complejos turísticos, la capital es una ciudad portuaria en el sudeste de la isla grande, Viti Levu. Las dos carreteras principales de la ciudad

descienden hacia una península, configurando un área con forma de herradura, cuyo centro atrae fuertes precipitaciones. Algunos habitantes familiarizados con el clima británico me dijeron que me sentiría como en casa.

Poco después me encontraría con otra reminiscencia, mucho más antigua, de mi hogar. Durante una reunión introductoria, un colega de la Organización Mundial de la Salud (OMS) mencionó que habían aparecido una serie de casos del SGB en las islas del Pacífico. El promedio anual de la enfermedad era de uno o dos casos por cien mil habitantes, pero en algunos sitios se había alcanzado el doble de ese promedio. [11]

Nadie logró averiguar por qué contraje el SGB. En ocasiones es consecuencia de una infección —el SGB ha sido vinculado a la gripe y a la neumonía, así como a otras enfermedades—, [12] pero muchas veces no hay un desencadenante claro. En mi caso, el síndrome fue solo ruido, una irregularidad aleatoria en el plan maestro de la salud humana. Pero en el Pacífico en 2014 y 2015, el SGB representaba una señal, como las malformaciones congénitas lo serían pronto en Latinoamérica.

Detrás de estas nuevas señales estaba el virus del Zika, llamado así por el bosque Zika, en el sur de Uganda. El zika, un pariente cercano del virus del dengue, fue identificado por primera vez en los mosquitos de ese bosque en 1947. En el idioma local, *Zika* significa «desmesurado», [13] y desmesurado sería su crecimiento, desde Uganda a Tahití, a Río de Janeiro y más allá. Esas señales que aparecieron en el Pacífico y en Latinoamérica en 2014 y 2015 se volvieron gradualmente más claras. Los investigadores encontraron una creciente evidencia de un vínculo entre la infección por zika y las condiciones neurológicas. Además del SGB, el zika parecía provocar complicaciones en el embarazo. La principal preocupación era la microcefalia, una enfermedad a causa de la cual los bebés desarrollan un cerebro más pequeño de lo normal, lo que lleva a un cráneo también más pequeño. [14] Esto puede causar múltiples problemas severos de salud, incluyendo ataques de distinto tipo e incapacidad intelectual.

En febrero de 2016, ante la posibilidad de que el zika estuviese causando microcefalia, [15] la OMS declaró que la infección era una emergencia de salud pública de importancia internacional o ESPCI (que en inglés se pronuncia como *fake*). [16] Los estudios iniciales sugerían que por cada cien infecciones de zika durante el embarazo, entre uno y veinte bebés podían

desarrollar microcefalia. [17] Aunque la microcefalia se convertiría en la principal preocupación relacionada con el zika, fue el SGB lo que primero llamó la atención de las agencias sanitarias, y también lo primero que me llamó a mí la atención. Mientras estaba en mi oficina provisional en Suva en 2015, me di cuenta de que no sabía nada de este síndrome que había condicionado tanto mi infancia. Mi ignorancia era en gran medida autoinfligida, con algo de ayuda (comprensible, por otra parte) de mis padres; pasarían años antes de que me contasen que el SGB podía ser fatal.

Al mismo tiempo, el mundo de la salud se enfrentaba a una ignorancia aún más profunda. El zika generó una enorme cantidad de preguntas, pocas de las cuales podían ser contestadas. «Raramente los científicos se han implicado en una agenda de investigación con tanta sensación de urgencia y a partir de unas bases de conocimiento tan pequeñas», escribió la epidemióloga Laura Rodrigues a comienzos de 2016. [18] En mi caso, el primer desafío fue comprender la dinámica de los brotes de zika. ¿Con qué facilidad se propagaba el virus? ¿Eran los brotes similares a los del dengue? ¿Cuántos casos deberíamos esperar?

Para responder a estas preguntas, nuestro grupo de investigación empezó a desarrollar modelos matemáticos de los brotes. Ese enfoque es el que normalmente se aplica actualmente en cuestiones de salud pública, así como en otras áreas de investigación. Pero ¿de dónde provenían originalmente esos modelos? ¿Y cómo funcionaban? Para contestar a esas preguntas, tenemos que retrotraernos a 1883, a la historia de un joven cirujano militar, un depósito de agua y un enfadado oficial de intendencia.

Ronald Ross habría querido ser escritor, pero su padre le obligó a entrar en la escuela de medicina. Sus estudios en St. Bartholomew's, en Londres, competían a duras penas con sus poemas, las obras de teatro y la música, y cuando Ross realizó sus dos exámenes de cualificación en 1879, solo aprobó el de cirugía. Esto significaba que no podía incorporarse al Servicio Médico Indio, el camino profesional que su padre había escogido para él. [19]

Al no estar habilitado para ejercer la medicina general, Ross pasó el año siguiente navegando por el Atlántico como cirujano de un barco. Al final, logró aprobar el examen médico que le quedaba y entró por los pelos en el Servicio Médico Indio en 1881. Después de dos años en Madrás, Ross se trasladó a Bangalore para ocupar el puesto de cirujano de la guarnición en

septiembre de 1883. La ciudad le pareció, desde su cómoda posición colonial, «la imagen misma del placer», soleada, plagada de jardines y de villas porticadas. El único problema, en su opinión, eran los mosquitos. Su nuevo bungaló parecía atraerlos mucho más que los otros alojamientos de la guarnición. Sospechaba que eso tenía que ver con el barril de agua situado al lado de su ventana, que estaba rodeado de insectos.

La solución de Ross fue volcar el tanque, destruyendo así la fuente de alimentación de los mosquitos. Pareció funcionar: sin el agua estancada, los insectos lo dejaron en paz. Animado por su exitoso experimento, preguntó a su oficial de intendencia si podía retirar también los otros depósitos de agua. Y ya que estábamos, ¿por qué no librarse también de los jarrones y las latas esparcidas por el comedor? Si los mosquitos no tuviesen sitios en los que alimentarse, no tendrían otra opción más que irse. El oficial no mostró ningún interés en la propuesta. «Fue muy despectivo y se negó a que los soldados se ocupasen de ese tema —escribió posteriormente Ross—, porque, dijo, eso alteraría el orden natural, y, dado que los mosquitos fueron creados para cumplir una función, era nuestro deber soportarlos».

Ese experimento resultó ser el primero de toda una vida dedicada al análisis de los mosquitos. El segundo estudio llegaría una década más tarde, inspirado por una conversación mantenida en Londres. En 1894, Ross regresó a Inglaterra para pasar un año sabático. La ciudad había cambiado mucho desde su última visita: se había finalizado el Puente de la Torre, el primer ministro William Gladstone acababa de dimitir y el país estaba a punto de inaugurar su primera sala de cine. [20] No obstante, el interés de Ross estaba centrado en otras cosas. Quería ponerse al día con las últimas investigaciones sobre la malaria. En la India, la gente enfermaba regularmente de malaria, seguida de fiebre, vómitos y en ocasiones, la muerte.

La malaria es una de las enfermedades más antiguas conocidas por el ser humano. De hecho, puede que nos haya acompañado a lo largo de toda nuestra historia como especie. [21] No obstante, su nombre proviene de la Italia medieval. Aquellos que contraían una fiebre culpaban a menudo a la *mala aria* : el «mal aire». [22] El nombre hizo fortuna, así como la explicación. Aunque finalmente el origen de la enfermedad fue atribuido a un parásito denominado *Plasmodium* , cuando Ross regresó a Inglaterra la causa de su propagación era todavía un misterio.

En Londres, Ross fue a visitar al biólogo Alfred Kanthack en St. Bartholomew's, esperando enterarse de los avances que se había perdido mientras estaba en la India. Kanthack le dijo que, si quería saber más sobre parásitos como el que estaba detrás de la malaria, debía hablar con un doctor llamado Patrick Manson. Durante años, Manson había investigado los parásitos en el sudeste de China. Mientras estaba allí, descubrió cómo se infectaba la gente con una familia especialmente desagradable de lombrices microscópicas denominadas filarias. Estos parásitos eran lo suficientemente pequeños como para introducirse en el flujo sanguíneo de una persona e infectar sus nódulos linfáticos, provocando una acumulación de fluidos en el cuerpo. En casos severos, las extremidades de una persona podían hincharse hasta alcanzar un tamaño varias veces mayor que el normal, una condición denominada elefantiasis. Además de identificar cómo la filaria causaba la enfermedad, Manson descubrió que cuando los mosquitos se alimentaban de humanos infectados, podían también ingerir las lombrices. [23]

Manson invitó a Ross a su laboratorio, enseñándole cómo encontrar parásitos de la malaria en pacientes infectados. También recomendó a Ross la lectura de varios artículos académicos que se había perdido mientras estaba en la India. «Le visité frecuentemente y aprendí todo lo que tenía que enseñarme», recordó posteriormente Ross. Una tarde de invierno, mientras recorrían Oxford Street, Manson hizo un comentario que transformaría la carrera de Ross. «¿Sabe? —le dijo—. He desarrollado la teoría de que los mosquitos son portadores de la malaria al igual que de la filaria».

Otras culturas habían especulado hacía tiempo sobre una potencial vinculación entre los mosquitos y la malaria. El geógrafo británico Richard Burton señaló que en Somalia se decía a menudo que las picaduras de los mosquitos provocaban fiebres letales, aunque el propio Burton desechó esa idea. «La superstición se debe probablemente al hecho de que tanto los mosquitos como las fiebres alcanzan su máxima incidencia más o menos al mismo tiempo», escribió en 1856. [24] Se habían desarrollado incluso tratamientos para la malaria, a pesar de desconocerse cuál era la causa de la enfermedad. En el siglo IV , el estudioso chino Ge Hong describió cómo la planta *qinghao* podía reducir la fiebre. Extractos de esa planta forman parte del tratamiento moderno contra la malaria. [25] (Otros intentos tuvieron menos éxito: la palabra *abracadabra* tiene su origen en un hechizo romano para mantener a raya la enfermedad). [26]

Ross había oído hablar de esa vinculación entre mosquitos y malaria, pero el argumento desarrollado por Manson fue el primero que realmente le convenció. Así como los mosquitos ingerían esas minúsculas lombrices cuando se alimentaban de sangre humana, Manson pensó que también podían portar parásitos de la malaria. A continuación, los parásitos se reproducirían dentro del mosquito antes de, de alguna manera, llegar hasta los humanos. Manson sugería que la ingesta de agua podría ser la fuente de la infección. Cuando Ross volvió a la India, se propuso comprobar esa idea, con un experimento que probablemente no sería aprobado por un moderno comité de ética. [27] Hizo que unos mosquitos se alimentasen de un paciente infectado y que después depositasen sus huevos en una botella de agua. Una vez que los huevos hubieron eclosionado, pagó a tres personas para que se bebiesen el agua. El resultado fue, para él, decepcionante: ninguno de ellos contrajo malaria. Entonces, ¿cómo entraban los parásitos en los humanos?

Al final, Ross escribió a Manson con una nueva teoría, sugiriendo que la infección podría propagarse a través de las picaduras de los mosquitos. Los mosquitos inyectaban algo de saliva con cada picadura, ¿podría ser esto suficiente para dejar entrar a los parásitos? Incapaz de reclutar suficientes voluntarios humanos para otro estudio, Ross experimentó con pájaros. En primer lugar, cogió algunos mosquitos e hizo que se alimentasen de la sangre de un ave infectada. Después dejó que los mosquitos picasen a pájaros sanos, que al poco tiempo enfermaron. Finalmente, diseccionó las glándulas salivares de los mosquitos infectados, en las que encontró parásitos de la malaria. Habiendo así descubierto la auténtica vía de transmisión, se dio cuenta de lo absurdas que eran sus anteriores teorías. «Los hombres y los pájaros no se dedican a comer mosquitos muertos», le dijo a Manson.

En 1902, Ross recibió el segundo Premio Nobel de Medicina de la historia por su trabajo sobre la malaria. A pesar de su contribución al descubrimiento, Manson no compartió el premio. Se enteró de que Ross había ganado cuando vio la noticia en el periódico. [28] La estrecha amistad entre el mentor y el estudiante evolucionó gradualmente hasta convertirse en una fuerte enemistad. Aunque era un científico brillante, Ross podía ser un colega conflictivo. Tuvo toda una serie de disputas con sus rivales, que a menudo terminaron en demandas judiciales. En 1912, llegó a amenazar a Manson con demandarlo por un delito de calumnias. [29] ¿Cuál era la ofensa? Manson había escrito una elogiosa carta de recomendación para

otro investigador, que iba a ocupar una cátedra que Ross acababa de dejar vacante. Manson decidió no entrar al trapo, y se disculpó. Tal como diría posteriormente, «son necesarios dos necios para iniciar una pelea». [30]

Ross seguiría estudiando la malaria sin Manson. En el proceso, encontraría nuevas posibilidades de demostrar su resuelta obstinación, así como de enfrentarse a un nuevo grupo de rivales. Una vez que había descubierto cómo se propagaba la malaria, quería demostrar que su propagación podía ser detenida.

Hubo una época en la que la malaria tenía un alcance mucho mayor que el que tiene hoy. Durante siglos, la enfermedad se extendía por Europa y América del Norte, desde Oslo a Ontario. Incluso cuando las temperaturas cayeron durante la llamada Pequeña Edad de Hielo en los siglos XVII y XVIII , el agudo frío del invierno era seguido por las agudas picaduras de los mosquitos en verano. [31] La malaria era endémica en muchos países templados, con transmisiones continuas y un flujo regular de nuevos casos de un año al siguiente. Ocho de las obras de Shakespeare incluyen una mención a la *ague* , un término medieval referido a la fiebre ocasionada por la malaria. Las salinas de Essex, al noreste de Londres, fueron una conocida fuente de la enfermedad durante siglos. Cuando Ronald Ross era estudiante, trató a una mujer que había contraído ahí la malaria.

Habiendo establecido el vínculo entre insectos e infecciones, Ross argumentó que expulsar a los mosquitos era la clave para controlar la malaria. Sus experiencias en la India —como el experimento con el depósito de agua en Bangalore— le habían convencido de que se podía reducir el número de mosquitos. Pero esa idea iba en contra de las teorías dominantes en ese momento. Según estas teorías, era imposible librarse de todos y cada uno de los mosquitos, lo que significaba que siempre quedarían algunos insectos, y, por tanto, el potencial para la propagación de la malaria. Ross reconocía que quedarían algunos mosquitos, pero creía que a pesar de ello la malaria podía ser detenida. Desde Freetown hasta Calcuta, sus sugerencias fueron en el mejor de los casos ignoradas y en el peor ridiculizadas. Como más tarde recordaría, «en todas partes, mis sugerencias acerca de reducir el número de mosquitos en las ciudades fueron consideradas ridículas».

En 1901, Ross viajó con un equipo hasta Sierra Leona para intentar poner en práctica sus ideas sobre el control de la población de mosquitos. Se

deshicieron de vagones enteros de latas y botellas. Envenenaron las aguas estancadas de las que se alimentaban los mosquitos. Y rellenaron baches para que «esos charcos letales», como los llamaba Ross, no pudiesen formarse en las calles. Los resultados fueron prometedores: cuando Ross volvió al año siguiente, había muchos menos mosquitos. No obstante, advirtió a las autoridades de que el efecto solamente duraría si las medidas de control continuaban. La financiación del proyecto provino de un rico mecenas de Glasgow. Cuando el dinero se agotó, el entusiasmo decayó y el número de mosquitos se incrementó una vez más.

Ross tuvo más éxito asesorando a la Compañía del Canal de Suez el año siguiente. En la ciudad egipcia de Ismailia se producían unos dos mil casos de malaria todos los años. Después de intensos esfuerzos para acabar con los mosquitos, esta cifra cayó a menos de un centenar. El control de los mosquitos también demostró ser efectivo en otros sitios. Cuando los franceses intentaron construir un canal en Panamá durante la década de 1880, miles de trabajadores murieron de malaria y de fiebre amarilla, otra infección de la que eran portadores los mosquitos. En 1905, con los estadounidenses a cargo del proyecto del canal de Panamá, el coronel del Ejército de los Estados Unidos William Gorgas supervisó una intensa campaña de control de los mosquitos, lo que permitió terminar el canal. [32] Mientras tanto, más al sur, los médicos Oswaldo Cruz y Carlos Chagas lideraban varios programas antimalaria en Brasil, ayudando a reducir los casos entre los obreros de la construcción. [33]

A pesar de estos proyectos, muchos continuaron siendo escépticos acerca del control de los mosquitos. Ross necesitaba un argumento más robusto para persuadir a sus colegas. Para presentar de manera más convincente sus argumentos, finalmente acudió a las matemáticas. Durante sus primeros años en el Servicio Médico Indio, se había formado en la materia de manera autodidacta hasta un nivel bastante avanzado. El artista que habitaba en él admiraba la elegancia del lenguaje matemático. «Una proposición demostrada era como un cuadro perfectamente equilibrado —sugirió más adelante—. Una serie infinita se desvanece en el futuro como las interminables variaciones de una sonata». Al darse cuenta de cuánto le gustaba el tema, lamentó no haberlo estudiado adecuadamente en la escuela. Su carrera ya estaba demasiado avanzada como para cambiar de rumbo. ¿Qué utilidad tenían las matemáticas para alguien que trabaja en

medicina? En sus propias palabras, «era la infeliz pasión de un hombre casado por una dama hermosa pero inaccesible».

Ross abandonó ese amorío intelectual durante un tiempo, pero regresó a él después de sus descubrimientos sobre los mosquitos. Esta vez encontró la manera de conseguir que su afición por las matemáticas fuese útil para su trabajo profesional. Necesitaba encontrar una respuesta a una pregunta vital: ¿era realmente posible controlar la malaria sin eliminar a todos y cada uno de los mosquitos? Para averiguarlo, desarrolló un modelo conceptual simple de transmisión de la malaria. Comenzó calculando cuántas infecciones nuevas de malaria en humanos podían aparecer cada mes, de media, en una determinada área geográfica. Esto suponía descomponer el proceso de transmisión en sus componentes básicos. Para que se produjese la transmisión, al menos un humano en esa área debía estar infectado de malaria. Escogió como ejemplo un escenario en el que había una persona infectada en un pueblo de mil habitantes. Para que la infección se transmitiese a otro humano, un mosquito *Anopheles* tendría que picar a este humano infectado. Ross calculó que solo uno de cada cuatro mosquitos podría picar a alguien. De manera que si había 48.000 mosquitos en el área, se esperaría que solo doce mil picasen a alguien. Y dado que solo una persona de los mil habitantes del pueblo estaba inicialmente infectada, de media solo doce de esos doce mil mosquitos picarían a esa persona infectada y pasarían a ser portadores del parásito.

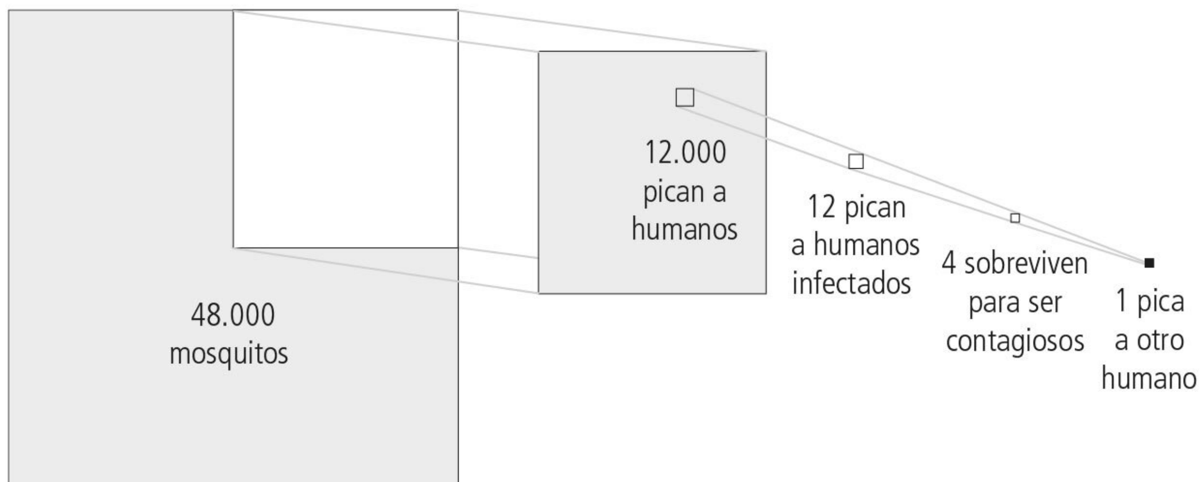
Tiene que pasar un cierto tiempo antes de que el parásito de la malaria se reproduzca dentro de un mosquito, de manera que esos insectos tienen que sobrevivir lo bastante para pasar a ser contagiosos. Ross asumió que solo uno de cada tres mosquitos lo lograría, lo que significaba que, de los doce mosquitos con el parásito, solo cuatro se convertirían en contagiosos. Finalmente, esos mosquitos necesitarían picar a otro humano para transmitir la infección. Si, de nuevo, solo uno de cada cuatro tenía éxito en alimentarse de un humano, quedaba solo un mosquito contagioso para transmitir el virus. El cálculo de Ross mostró que incluso si había 48.000 mosquitos en el área, de media solo generarían una nueva infección humana.

Siguiendo esa lógica, si hubiese más mosquitos, o más humanos infectados, esperaríamos nuevas infecciones por mes. No obstante, un segundo proceso contrarresta este efecto: Ross estimó que alrededor de un 20 por ciento de los humanos infectados de malaria se recuperarían cada

mes. Para que la malaria se hiciese endémica en una población, estos dos procesos —infección y recuperación— necesitarían equilibrarse. Si las recuperaciones superaban la tasa de nuevas infecciones, el nivel de la enfermedad disminuiría hasta cero.

Ross había descubierto lo que sospechaba intuitivamente. No era necesario librarse de todos y cada uno de los mosquitos para controlar la malaria; existía una densidad crítica de mosquitos, y una vez que la población caía por debajo de ese nivel, la enfermedad se desvanecería sola. Tal como afirmó Ross, «la malaria no puede persistir en una comunidad a menos que los *Anopheles* sean tan numerosos que el número de nuevas infecciones compense el número de recuperaciones».

Cuando publicó su análisis en su libro de 1901 *La prevención de la malaria* , Ross reconoció que sus lectores podrían no entender sus cálculos. Aun así, pensaba que podrían apreciar sus implicaciones. «El lector debería estudiar estas ideas atentamente —escribió— y no le será muy difícil, creo yo, comprenderlas, aunque quizá haya olvidado la mayor parte de las matemáticas que aprendió en la escuela». Siguiendo con el tema de las matemáticas, llamó a su descubrimiento el «teorema del mosquito».



Este análisis mostró cómo podía controlarse la malaria, pero también incluía una idea mucho más profunda, que revolucionaría la forma en la que estudiamos el contagio. Tal como lo veía Ross, había dos formas de aproximarse al análisis de la enfermedad. Llamémoslas métodos «descriptivo» y «mecanicista». En la época de Ross, la mayor parte de los

estudios utilizaban un razonamiento descriptivo. Esto implicaba empezar con datos reales y, a partir de ahí, identificar pautas predecibles. Pongamos por ejemplo el análisis de William Farr de un brote de viruela en Londres a finales de la década de 1830. Farr, un experto en estadística del Gobierno, había descubierto que la epidemia crecía rápidamente al principio, pero con el tiempo el crecimiento se ralentizaba hasta que alcanzaba un pico y luego empezaba a declinar. Ese declive era casi el reflejo de la fase de crecimiento. Farr dibujó una curva a partir de los datos sobre los casos para captar la forma general; cuando estalló otro brote en 1840, descubrió que seguía en gran medida la misma pauta. [34] En su análisis, Farr no tuvo en cuenta la mecánica de la transmisión de la enfermedad. No siguió la trayectoria de las tasas de infección o de recuperación. Esto no es sorprendente: en esa época nadie sabía que la viruela era un virus. El método de Farr, por tanto, se centraba en *qué* forma adopta la epidemia, no en *por qué* adopta esa forma. [35]

Ross, por el contrario, adoptó un enfoque mecanicista. En lugar de estudiar los datos y encontrar pautas que describiesen las tendencias observadas, empezó delineando los principales procesos que influían en la transmisión. Utilizando su conocimiento de la malaria, especificó cómo las personas se infectaban, cómo infectaban a otras y a qué velocidad se recuperaban. Resumió este modelo conceptual de transmisión utilizando ecuaciones matemáticas, que después analizó para llegar a conclusiones sobre las pautas probables de los brotes.

Gracias a que su análisis incluía asunciones específicas sobre el proceso de transmisión, Ross podía modificarlas para ver qué ocurriría si cambiaba la situación. ¿Qué efectos tendría la reducción del número de mosquitos? ¿A qué velocidad desaparecería la enfermedad si disminuía la transmisión? El enfoque de Ross suponía que podía mirar hacia el futuro y preguntarse: «¿Qué ocurriría si…?», en lugar de simplemente buscar patrones en los datos existentes. Aunque algunos investigadores habían realizado con anterioridad toscos intentos de análisis de este tipo, Ross combinó todas estas ideas en una teoría clara y comprehensiva. [36] Mostró cómo estudiar las epidemias de una manera dinámica, tratándolas como una serie de procesos interactivos más que como un conjunto de patrones estáticos.

Los métodos descriptivo y mecanicista —uno orientado hacia el pasado y el otro hacia el futuro— deberían en teoría converger hacia la misma respuesta. Consideremos el método descriptivo. Con suficientes datos

reales, sería posible estimar el efecto del control de los mosquitos: vuélquese un depósito de agua, o expúlsese a los mosquitos de cualquier otra forma, y podremos observar qué es lo que ocurre. Por otro lado, el efecto predicho del control de los mosquitos en el análisis matemático de Ross debería, idealmente, corresponderse con el impacto real de esas medidas. Si una estrategia de control realmente funciona, ambos métodos nos deberían decir que así es. La diferencia es que con el enfoque mecanicista de Ross no necesitamos volcar tanques de agua para estimar qué efecto tendría el hacerlo.

Los modelos matemáticos como el de Ross a menudo tienen la reputación de ser opacos o complicados. Pero en esencia, un modelo es solamente una simplificación del mundo, diseñado para ayudarnos a comprender qué podría suceder en una situación dada. Los modelos mecanicistas son particularmente útiles para cuestiones que no podemos responder mediante experimentos. Si una agencia de salud quiere saber cuál es la efectividad de su estrategia de control de una enfermedad, no puede volver al pasado y repetir la misma epidemia sin esa estrategia. Igualmente, si queremos saber cómo será una futura pandemia, no podemos poner en circulación deliberadamente un nuevo virus y ver cómo se propaga. Los modelos nos dan la capacidad de examinar los brotes sin interferir en la realidad. Podemos explorar cómo cuestiones como la transmisión y la recuperación afectan a la propagación de una infección. Podemos introducir diferentes controles —desde la eliminación de los mosquitos hasta la vacunación— y ver lo efectivos que serían en distintas situaciones.

A comienzos del siglo XX , este enfoque era exactamente lo que Ross necesitaba. Cuando anunció que los mosquitos *Anopheles* propagaban la malaria, muchos de sus colegas no estaban convencidos de que el control de la población de mosquitos pudiese reducir la enfermedad. Esto hacía que el análisis descriptivo fuese problemático: es complicado evaluar una medida de control que no ha sido aplicada. No obstante, gracias a su nuevo modelo, Ross estaba convencido de que una reducción duradera del número de mosquitos podría funcionar. El desafío siguiente sería convencer a todos los demás.

Desde el punto de vista actual, parece extraño que Ross encontrase tanta oposición a sus ideas. Aunque la ciencia de la epidemiología estaba progresando, creando nuevas formas de analizar los patrones seguidos por las enfermedades, la comunidad médica no veía la malaria de la misma

manera que Ross. Se trataba, fundamentalmente, de un conflicto entre dos filosofías distintas. La mayoría de los médicos pensaba en la malaria en términos descriptivos: cuando analizaban los brotes, se ocupaban de clasificarlos, más que de hacer cálculos. Pero Ross estaba firmemente convencido de que los procesos que había detrás de las epidemias tenían que ser cuantificados. «La epidemiología es, de hecho, una materia de naturaleza matemática —escribió en 1911— y se cometerían menos errores absurdos (por ejemplo, con respecto a la malaria) si se prestase mayor atención a su estudio matemático». [37]

Pasarían muchos más años antes de que el control de la población de mosquitos se adoptase universalmente. Ross no viviría para ver la drástica reducción de los casos de malaria: la enfermedad subsistió en Inglaterra hasta la década de 1950, y solo fue eliminada de la Europa continental en 1975. [38] Aunque sus ideas finalmente empezaron a imponerse, lamentaba la tardanza. «El mundo requiere al menos diez años para comprender una nueva idea —escribió una vez—, por muy importante o simple que sea».

No serían solo los esfuerzos prácticos de Ross los que, con el tiempo, se terminarían aceptando. Un miembro del equipo de aquella expedición de 1901 a Sierra Leona era Anderson McKendrick, un doctor recién graduado de Glasgow. McKendrick había sacado la máxima nota en los exámenes al Servicio Médico Indio y estaba previsto que comenzase su nuevo trabajo en la India después del viaje a Sierra Leona. [39] En el barco de regreso a Gran Bretaña, McKendrick y Ross hablaron largamente sobre las matemáticas de la enfermedad. La pareja siguió intercambiando ideas los años siguientes. Finalmente, McKendrick aprendió suficientes matemáticas como para intentar profundizar en el análisis de Ross. «He leído su trabajo en su importantísimo libro —le dijo a Ross en agosto de 1911—. Estoy intentando alcanzar las mismas conclusiones empleando ecuaciones diferenciales, pero es una tarea muy escurridiza, y estoy teniendo que expandir el análisis matemático en nuevas direcciones. Dudo que sea capaz de encontrar lo que quiero, pero “la búsqueda de un hombre debe exceder su compresión”». [40]

McKendrick desarrollaría una visión de lo más cáustica hacia estadísticos como Karl Pearson, que se basaban principalmente en análisis descriptivos en lugar de adoptar los métodos mecanicistas de Ross. «Los pearsonianos, como siempre, han montado un lío monumental —le dijo a Ross después de leer un deficiente análisis sobre las infecciones de malaria—. No tengo

simpatía ni hacia ellos ni hacia sus métodos». [41] Los enfoques descriptivos tradicionales eran una parte importante de la medicina —y todavía lo son —, pero tienen limitaciones para la comprensión del proceso de transmisión. McKendrick creía que el futuro del análisis de los brotes radicaba en adoptar una forma de pensar más dinámica. Ross compartía esa opinión. «Acabaremos estableciendo una nueva ciencia —le dijo una vez a McKendrick—. Pero primero abramos la puerta usted y yo de manera que todo aquel que se quiera ir lo haga». [42]

Una tarde del verano de 1924, el experimento en que estaba trabajando William Kermack explotó, rociando una solución alcalina corrosiva en sus ojos. Kermack, químico de formación, estaba investigando los métodos comúnmente empleados para estudiar los fluidos de la médula espinal. Esa tarde estaba trabajando a solas en el laboratorio del Royal College of Physicians, en Edimburgo, y sus heridas le mandarían dos meses al hospital. El accidente dejó completamente ciego a Kermack, que entonces tenía veintiséis años. [43]

Durante su estancia en el hospital, Kermack pidió a amigos y enfermeras que le leyesen textos matemáticos. Sabiendo que nunca más volvería a ver, quería probar cómo obtener información de otras maneras. Tenía una memoria excepcional que le permitía elaborar los problemas matemáticos en su mente. «Era increíble todo lo que podía hacer sin poner nada por escrito», afirmó uno de sus colegas, William McCrea.

Tras dejar el hospital, Kermack continuó trabajando en ciencia, pero su interés se trasladó a otros temas. Dejó atrás sus experimentos químicos y comenzó a desarrollar nuevos proyectos. En particular, comenzó a trabajar en cuestiones matemáticas con Anderson McKendrick, que había progresado en su carrera hasta llegar a director del laboratorio de Edimburgo. Habiendo servido en la India durante casi dos décadas, McKendrick dejó el Servicio Médico Indio en 1920 y se trasladó a Escocia con su familia.

Juntos, la pareja de investigadores expandió las ideas de Ross para estudiar las epidemias en general. Centraron su atención en una de las cuestiones más importantes en la investigación de las enfermedades infecciosas: ¿qué explica el final de las epidemias? En su opinión, dos explicaciones eran las más populares en aquel momento. La transmisión cesaba o bien porque ya no quedaba gente a la que infectar, o porque el

propio patógeno se volvía menos contagioso a medida que la epidemia progresaba. Resultó que, en la mayoría de los casos, ninguna de las dos explicaciones era correcta. [44]

Al igual que Ross, Kermack y McKendrick comenzaron a desarrollar un modelo matemático de la transmisión de las enfermedades. Para simplificar, asumieron que la población se entremezclaba de manera aleatoria: como canicas que fuesen agitadas dentro de un jarro, cada integrante de una población tenía la misma probabilidad de encontrarse con todos los demás. En el modelo, la epidemia estalla con un cierto número de personas infecciosas, y todos los demás son susceptibles de infectarse. Una vez que alguien se ha recuperado de la infección, es inmune a la enfermedad. En consecuencia, podemos clasificar a la población en uno de los siguientes tres grupos, basándonos en su situación con respecto a la enfermedad:



Dados los nombres de los tres grupos, este modelo se conoce como modelo SIR. [45] Digamos, por ejemplo, que aparece en una población de diez mil personas un caso único de gripe. Si simulamos una epidemia del tipo de la de la gripe mediante el modelo SIR, obtenemos la siguiente pauta:

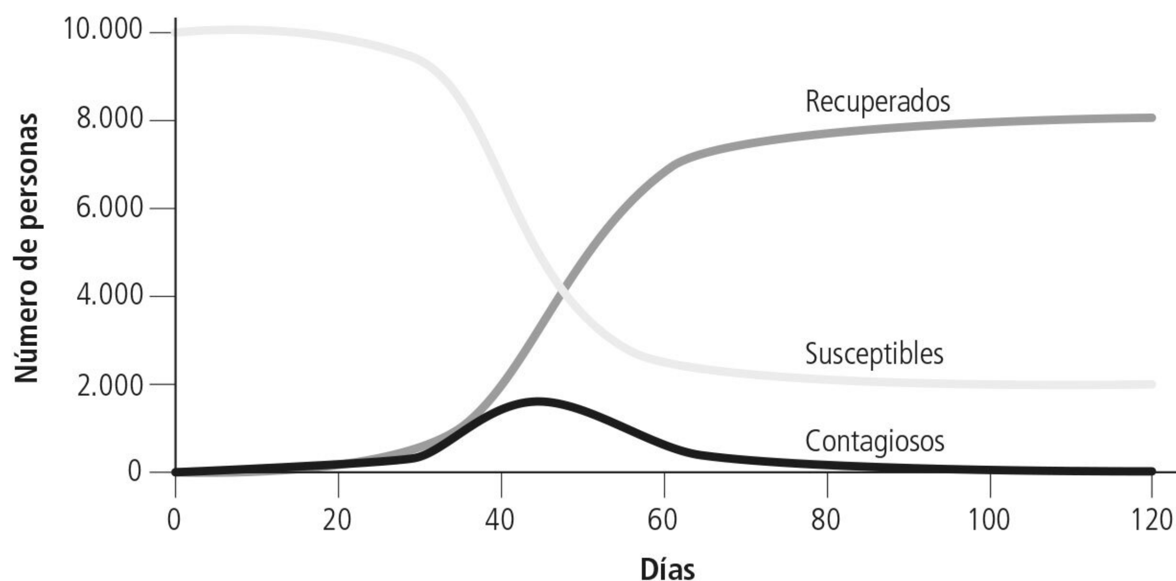


Figura 3. Simulación de un brote de gripe mediante el modelo SIR.

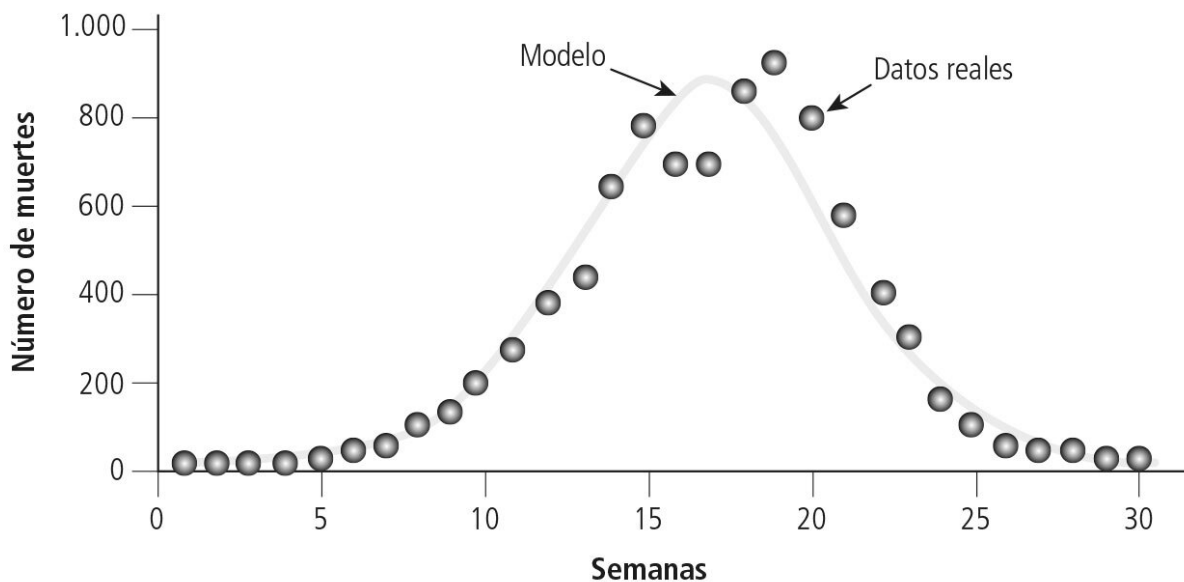


Figura 4. El brote de 1906 de plaga en Bombay, con el modelo SIR junto con los datos reales. Fuente para los datos de 1906: «Epidemiological Observations in Bombay City», *Journal of Hygiene* , 1907, www.ncbi.nlm.nih.gov/pmclarticles/PM2236259/.

En la simulación, la epidemia tarda en crecer porque al comienzo solo hay una persona contagiosa, pero aun así alcanza un pico a los cincuenta días. Y tras ochenta días, prácticamente ha finalizado. Nótese que al final de la epidemia, hay aún algunas personas susceptibles de contagio. Si todo el mundo ha sido contagiado, entonces las diez mil personas terminarán en el grupo de recuperados. El modelo de Kermack y McKendrick sugiere que esto no ocurre: los brotes pueden terminar antes de que todo el mundo se contagie. En sus propias palabras, «una epidemia, en general, finaliza antes de que la población susceptible se haya agotado».

¿Por qué no se contagia todo el mundo? La explicación reside en una transición que tiene lugar a mitad del brote. En los estadios iniciales de una epidemia, mucha gente es susceptible. Como resultado de ello, el número de personas que se contagia cada día es mayor que el número de las que se recuperan, y la epidemia crece. A lo largo del tiempo, sin embargo, el grupo de personas susceptibles disminuye. Cuando ese grupo es lo suficientemente pequeño, la situación da un vuelco: cada día se producen más recuperaciones que contagios, de manera que la epidemia empieza a declinar. Quedarán personas susceptibles que podrían ser contagiadas, pero

son tan pocas que es más probable que una persona contagiada se recupere antes de que se encuentre con una de ellas.

Para ilustrar ese efecto, Kermack y McKendrick mostraron cómo el modelo SIR podría reproducir las dinámicas del brote de plaga de 1906 en Bombay (ahora Mumbai). En el modelo, el patógeno sigue siendo contagioso todo el tiempo; es el cambio en el número de personas susceptibles y contagiosas lo que lleva al auge y a la caída de la epidemia.

El cambio crucial se produce durante el pico de la epidemia. En este punto, hay tanta gente inmune —y tan pocos susceptibles— que la epidemia no puede continuar creciendo. La epidemia, por tanto, cambiará de dirección y comenzará su declive.

Cuando hay suficiente gente inmune como para evitar el contagio, decimos que la población ha adquirido «inmunidad de rebaño». La frase fue originalmente acuñada por el estadístico Major Greenwood a comienzos del siglo XX (Major era su nombre de pila; su rango en el Ejército era de capitán). [46] Los psicólogos ya habían empleado la expresión «instinto de rebaño» para describir a grupos que actuaban como un colectivo más que como individuos. [47] En el mismo sentido, la inmunidad de rebaño significaba que la población en su conjunto podía bloquear el contagio, incluso aunque algún individuo siguiese siendo susceptible.

El concepto de inmunidad de rebaño se popularizaría varias décadas más tarde, cuando la gente se dio cuenta de que podría ser una poderosa herramienta para el control de las enfermedades. Durante una epidemia, los individuos, naturalmente, salen del grupo de susceptibles a medida que se contagian. Pero en muchos casos, las agencias sanitarias pueden sacarlos de ese grupo deliberadamente, vacunándolos. Al igual que Ross sugería que la malaria podría ser controlada sin eliminar a todos y cada uno de los mosquitos, la inmunidad de rebaño hace posible controlar la infección sin vacunar a toda la población. Algunas personas no pueden ser vacunadas —por ejemplo, los recién nacidos o los que tienen sistemas inmunitarios débiles—, pero la inmunidad de rebaño permite vacunar a determinadas personas, de manera que queden protegidas, y, al mismo tiempo, se proteja a esos grupos vulnerables no vacunados. [48] Y si las enfermedades pueden ser controladas mediante la vacunación, pueden potencialmente ser eliminadas. Esta es la razón por la cual la inmunidad se situó en el centro de la teoría de las epidemias. «El concepto tiene un aura especial», tal como dijo una vez el epidemiólogo Paul Fine. [49]

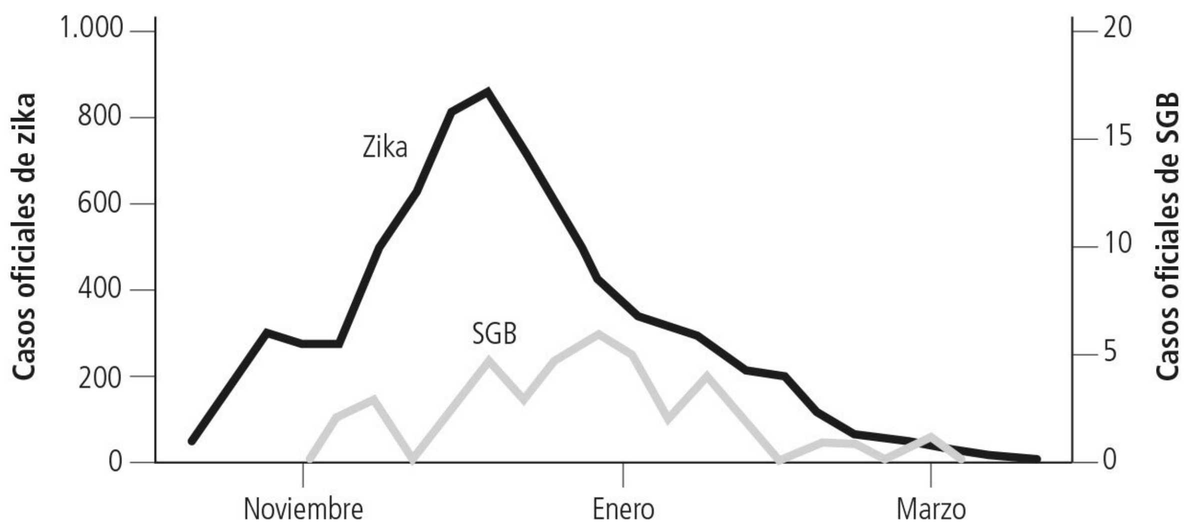


Figura 5. Casos de zika y de síndrome de Guillain-Barré en la Polinesia Francesa, 2013-2014. Datos: Mallet, H.-P. et al., «Bilan de l'épidémie à virus Zika survenu en Polynésie française, 2013-2014», Bulletin d'information sanitaires, épidémiologiques et statistiques, 2015.

Además de estudiar por qué finalizan las epidemias, Kermack y McKendrick estaban también interesados en la aparición aparentemente aleatoria de brotes. Analizando su modelo, descubrieron que la transmisión era muy sensible a pequeñas diferencias en las características del patógeno en la población humana. Esto explica por qué grandes brotes pueden surgir aparentemente de la nada. De acuerdo con el modelo SIR, los brotes necesitan tres requisitos para desarrollarse: un patógeno suficientemente contagioso, muchas interacciones entre gente distinta y suficiente población susceptible. Cerca del umbral crítico de inmunidad de rebaño, un pequeño cambio en uno de esos factores puede significar la diferencia entre un puñado de casos y una gran epidemia.

El primer brote conocido de zika comenzó en la isla micronesia de Yap a comienzos de 2007. Con anterioridad, solo se habían identificado catorce casos de zika en humanos, esparcidos entre Uganda, Nigeria y Senegal. Pero el brote de Yap era distinto. Fue explosivo (contagió a la mayoría de los habitantes de la isla) y completamente inesperado. El poco conocido virus proveniente de una zona selvática en expansión estaba entrando, aparentemente, en una nueva era. «Los responsables de salud pública deberían ser conscientes del riesgo de una mayor expansión en la transmisión del virus del Zika», concluyeron el epidemiólogo Mark Duffy y sus colegas en su informe sobre el brote. [50]

En Yap, el zika había sido una curiosidad más que una amenaza. A pesar de que mucha gente padeció fiebre o erupciones, nadie acabó en un hospital. Todo ello cambió cuando el virus llegó a las islas mucho mayores de la Polinesia Francesa a finales de 2013. Durante el brote subsiguiente, cuarenta y dos personas con el síndrome de Guillain-Barré fueron ingresadas en el hospital principal de Papeete, en la costa norte de Tahití. Los casos de SGB afloraron poco después del principal brote de zika, que es lo que esperaríamos de un síndrome que aparece dos semanas después de la infección. Las especulaciones sobre una posible vinculación entre ambos se confirmaron cuando la científica local Van-Mai Cao-Lormeau y sus colegas descubrieron que casi todos los casos de SGB habían sido infectados recientemente con zika. [51]

Al igual que en Yap, el brote en la Polinesia Francesa había sido enorme, con la mayoría de la población infectada. Y como en Yap, había sido muy breve: la mayoría de los casos aparecieron en pocas semanas. Dado que nuestro equipo había desarrollado en 2014-2015 modelos matemáticos para analizar el dengue en el Pacífico, decidimos ocuparnos también del zika. A diferencia de los *Anopheles* monocolores que pueden volar kilómetros y kilómetros para propagar la malaria, el dengue y el zika son propagados por mosquitos *Aedes* , conocidos por ser rayados y perezosos (*aedes* significa «casa» en latín). Debido a ello, la infección generalmente se propaga cuando los humanos se trasladan de un lugar a otro. [52]

Cuando intentamos aplicar las simulaciones de nuestro modelo para reproducir las dinámicas del zika en la Polinesia Francesa, nos dimos cuenta de que se necesitaría una tasa de propagación grande, como la del dengue, para generar un brote tan explosivo. [53] La corta duración del brote llamaba más la atención teniendo en cuenta, además, los retrasos que implicaba el proceso de contagio. Durante cada ciclo de transmisión, el virus tenía que pasar de un humano a un mosquito y de vuelta a un humano.

Mientras analizábamos las tasas de contagio en la Polinesia Francesa, estimamos también cuánta gente se había infectado cuando se informó de los primeros casos en octubre de 2013. Nuestro modelo sugería que para entonces ya se habían producido varios cientos de contagios, lo que significaba que el virus probablemente había llegado al país semanas e incluso meses atrás. Este resultado nos llevaría a resolver otro misterio: ¿cómo alcanzó Latinoamérica el virus del Zika? Después de que se informase de los primeros casos en Brasil, en mayo de 2015, se empezó a

especular acerca de cuándo y a través de quién se había introducido la infección en el continente. Una hipótesis inicial apuntaba a la Copa del Mundo de la FIFA, organizada en Brasil en junio y julio de 2014, que había atraído a alrededor de tres millones de amantes del fútbol de todo el mundo. Otro candidato fue el campeonato de *sprint* para canoas *va'a* , organizado en Río de Janeiro en agosto de 2014. A diferencia de la Copa del Mundo, este evento más modesto había incluido un equipo de la Polinesia Francesa. ¿Cuál de esas explicaciones era la más plausible?

Según el biólogo evolutivo Nuno Faria y sus colegas, ninguna de las dos hipótesis era particularmente buena. [54] Basándose en la diversidad genética de los virus del Zika que circulaban en Latinoamérica en 2016, concluyeron que la infección fue introducida mucho antes de lo que previamente se pensaba. El virus golpeó el continente probablemente a mediados o a finales de 2013. Aunque esto es antes del campeonato de canoas o de la Copa del Mundo, esas fechas sí coinciden con la Copa Confederaciones, un torneo de fútbol regional organizado en junio de 2013. Y en el que, además, la Polinesia Francesa era uno de los países competidores.

La teoría solo tenía un fallo: la Copa Confederaciones se produjo cinco meses antes de que se informase de los primeros casos de zika en la Polinesia Francesa. Pero si el brote en la Polinesia Francesa había realmente comenzado con anterioridad a octubre de 2013 —tal como sugería nuestro análisis—, era plausible, por los pelos, que se hubiese propagado a Latinoamérica durante el verano. Por supuesto, deberíamos tener cuidado a la hora de buscar un prólogo relacionado con el deporte para la historia del zika; siempre existe la posibilidad de que fuese una persona al azar del Pacífico que tomó un vuelo al azar a Brasil en algún momento de 2013.

Además de para analizar brotes pasados, podemos usar modelos matemáticos para predecir qué podría pasar en el futuro. Esto puede ser particularmente útil para las agencias sanitarias que se enfrentan a decisiones difíciles durante un brote. Una de esas situaciones se produjo en diciembre de 2015, cuando el zika alcanzó la isla caribeña de Martinica. Había una gran preocupación acerca de la capacidad de la isla para gestionar los casos del SGB: si los pulmones de los pacientes fallaban, necesitarían respiradores. En ese momento, Martinica solo tenía ocho respiradores para una población de 380.000 habitantes. ¿Serían suficientes?

Para averiguarlo, investigadores del Instituto Pasteur de París desarrollaron un modelo de la propagación del virus en la isla. [55] Lo más importante era conocer la forma general del brote. Los casos de SGB que requerían un respirador normalmente lo necesitaban durante varias semanas, por lo que un brote corto con un gran pico podía abrumar al sistema sanitario, mientras que un brote más largo y más plano no lo haría. Al comienzo del brote en Martinica no había muchos casos, así que el equipo de investigación usó datos de la Polinesia Francesa como punto de partida. De los cuarenta y dos casos oficiales de SGB en 2013-2014, doce habían necesitado respiradores. De acuerdo con el modelo del Instituto Pasteur, esto planteaba potencialmente un gran problema. Si el brote en Martinica seguía la misma pauta que el de la Polinesia Francesa, la isla probablemente necesitaría nueve respiradores, uno más de los disponibles.

Afortunadamente, el brote en Martinica no fue igual. A medida que llegaban nuevos datos, empezó a quedar claro que el virus no se estaba propagando tan rápidamente como en la Polinesia Francesa. En el pico del brote, los investigadores esperaban que alrededor de tres casos de SGB necesitarían respiradores. Incluso en el peor de los escenarios, estimaban que siete respiradores serían suficientes. Sus conclusiones acerca de este límite superior resultaron ser correctas: en el pico del brote, solo cinco casos de SGB usaron ventiladores. En total, el brote resultó en treinta casos de SGB, con dos muertos. Sin una adecuada infraestructura sanitaria, el resultado podría haber sido mucho peor. [56]

Estos estudios sobre el zika son solo unos pocos ejemplos de cómo los métodos de Ross han influido en nuestra comprensión de las enfermedades infecciosas. Desde la predicción de la forma de un brote hasta la evaluación de las medidas de control, los modelos mecanicistas se han convertido en una parte fundamental de cómo estudiamos hoy los contagios. Los investigadores usan modelos para ayudar a las agencias sanitarias a responder a toda una serie de brotes, desde la malaria y el zika hasta el VIH y el virus del Ébola, en áreas geográficas que incluyen desde islas remotas hasta zonas de conflicto.

No cabe duda de que Ross estaría satisfecho al ver lo influyentes que han sido sus ideas. A pesar de ganar el Premio Nobel por su descubrimiento de que los mosquitos transmiten la malaria, no consideraba que ese hubiese sido su principal logro. «En mi opinión, mi principal trabajo ha sido

establecer las leyes generales de las epidemias», escribió en una ocasión. [57] Y no se refería solo a las enfermedades epidémicas.

Aunque Kermack y McKendrick aplicarían más adelante el teorema del mosquito de Ross a otro tipo de infecciones, Ross era más ambicioso. «Como una infección es solo uno de los muchos tipos de eventos que les pueden suceder a esos organismos, debemos ocuparnos de los "eventos" en general», escribió en la segunda edición de *La prevención de la malaria* . Ross propuso una «teoría de los eventos» para describir cómo el número de personas afectadas por algo —ya fuese ese «algo» una enfermedad u otro tipo de evento— podía cambiar a lo largo del tiempo.

Ross sugirió que hay dos tipos principales de eventos. El primero afecta a la gente de manera independiente: si le pasa a usted, generalmente no incrementará o disminuirá la probabilidad de que le pase más adelante a otro. Según Ross, esto incluiría cosas como enfermedades no infecciosas, accidentes o divorcios. [58] Por ejemplo, supongamos que aparece una nueva condición que puede afectar aleatoriamente a cualquiera, pero al principio nadie la tiene. Si cada individuo tiene una cierta probabilidad de verse afectado cada año —y de permanecer afectado desde ese momento en adelante— esperaríamos ver un patrón creciente a lo largo del tiempo.

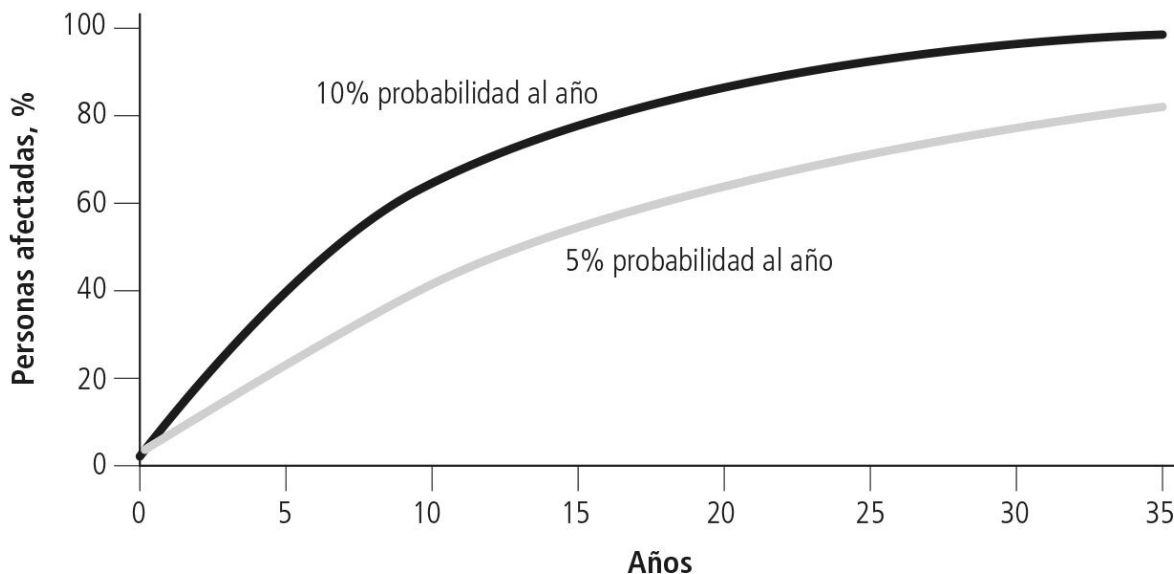


Figura 6. Crecimiento de un evento independiente a lo largo del tiempo. El ejemplo muestra lo que ocurriría si todo el mundo tuviese un 5 por ciento o un 10 por ciento de probabilidades al año de verse afectado.

No obstante, la curva gradualmente se aplana, debido a que el tamaño del grupo no afectado se reduce con el paso del tiempo. Cada año, una proporción de personas que hasta entonces no se habían visto afectadas pasan a estarlo, pero debido a que con el tiempo cada vez quedan menos personas, el total no crece mucho en estadios más avanzados. Si la probabilidad de verse afectado cada año es menor, la curva crecerá más lentamente al inicio, pero aun así terminará alcanzando una meseta. En realidad, la curva no se aplanará necesariamente al 100 por cien: el número final de personas afectadas dependerá de quién es inicialmente «susceptible» al evento.

Para ilustrar este proceso, consideremos la propiedad inmobiliaria en el Reino Unido. De aquellos nacidos en 1960, muy pocos eran propietarios a los veinte años, pero la mayoría lo eran a los treinta. Por el contrario, los nacidos en 1980 o 1990 tenían una probabilidad mucho menor de ser propietarios entre los veinte y los treinta años. Si trazamos una gráfica de la proporción de aquellos que se hicieron propietarios a lo largo del tiempo, veremos la velocidad a la cual crece la propiedad de viviendas para diferentes grupos de edad.

Por supuesto, la propiedad inmobiliaria no es un evento completamente aleatorio —factores como las herencias influyen en la probabilidad de que la gente compre una casa—, pero la pauta general se asemeja al concepto de Ross de un evento independiente. De media, el que una persona de veinte años se convierta en propietaria no afectará mucho a que otra lo haga. En la medida en que los eventos ocurran independientemente unos de otros, esta pauta global no variará mucho. Tanto si nos referimos al número de personas que acceden a la propiedad de una vivienda a una cierta edad, o a la probabilidad de que el autobús llegue después de que usted lleve un cierto tiempo esperando, obtendremos unas pautas parecidas, las gráficas resultantes serán similares.

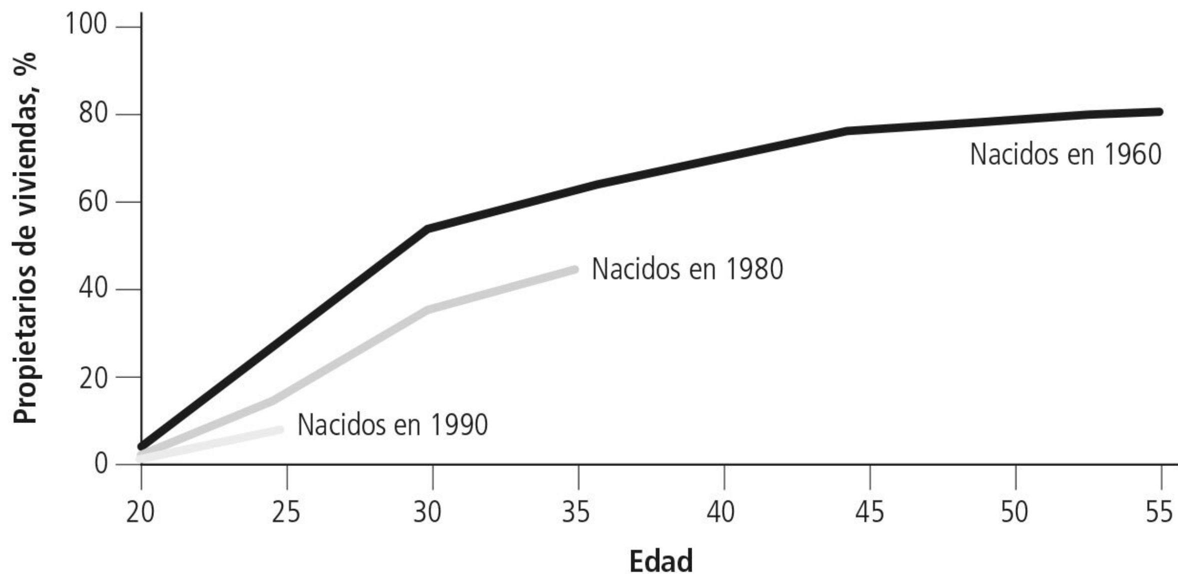


Figura 7. Porcentaje de personas que eran propietarias de viviendas a una cierta edad, basado en el año de nacimiento. *Datos* : Clarke, B., «The challenge facing first-time buyers», *Council of Mortgage Lenders* , 23 de abril de 2015, www.cml.org.uk/news/news-and-views/723/.

Los eventos independientes son un punto de partida natural, pero las cosas se ponen más interesantes cuando los eventos son contagiosos. Ross denominó a estos eventos «eventos dependientes», porque lo que le ocurre a una persona depende de cuánta gente esté ya afectada. El tipo de brote más simple es aquel en el que la gente afectada traspasa esa condición a otros, y estos, una vez afectados, permanecen en esa condición. En esta situación, el evento permeará gradualmente a toda la población. Ross señaló que esas epidemias adoptarían la forma de «letra S alargada». El número de personas afectadas crece exponencialmente al principio, con el número de casos creciendo cada vez más rápido. Con el tiempo, este crecimiento se ralentiza y se alcanza una meseta.

El supuesto de que la gente sigue afectada indefinidamente no se aplica normalmente a las enfermedades infecciosas, porque los pacientes se pueden recuperar, recibir tratamiento o morir de la infección. Pero sí puede aplicarse a otros tipos de propagación. La curva con forma de S se popularizaría en la sociología, después de que Everett Rogers la incluyese en su libro de 1962 *La difusión de las innovaciones* . [59] Descubrió que la adopción inicial de nuevas ideas y productos generalmente seguía esa forma. A mediados del siglo XX , la difusión de productos como radios y

frigoríficos seguía una curva con forma de S; más adelante, lo mismo se aplicaría a televisores, hornos microondas y teléfonos móviles.

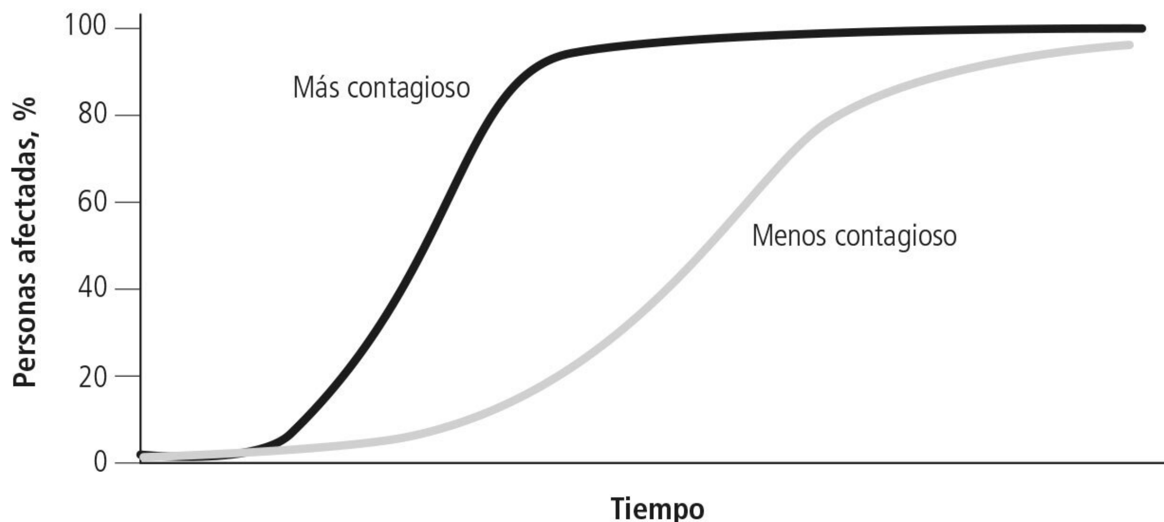


Figura 8. Ejemplo del crecimiento con forma de S de un evento dependiente, basado en el modelo de Ross. El gráfico muestra el crecimiento de un evento más contagioso y uno menos contagioso.

Según Rogers, hay cuatro tipos de personas responsables del crecimiento de un producto: la adopción inicial viene de la mano de los «innovadores», seguidos de los «pioneros en su adopción», después la mayoría de la población, y finalmente los «rezagados». Su investigación sobre innovación seguía en gran medida este enfoque descriptivo, partiendo de la curva en forma de S e intentando encontrar posibles explicaciones.

Los estudios de Ross habían partido de la dirección opuesta. Ha bía empleado su razonamiento mecanicista para deducir la curva desde cero, mostrando que la propagación de esos eventos llevaría inevitablemente a esa curva. El modelo de Ross también nos proporciona una explicación acerca de por qué la adopción de nuevas ideas gradualmente se ralentiza. A medida que un número mayor de gente las adopta, se hace cada vez más difícil encontrarse con alguien que aún no haya oído hablar de la idea en cuestión. Aunque el número total de individuos que la adoptan continúa creciendo, cada vez la adoptan un número menor de personas en un determinado momento. El número de nuevas adopciones, por tanto, comienza a declinar.

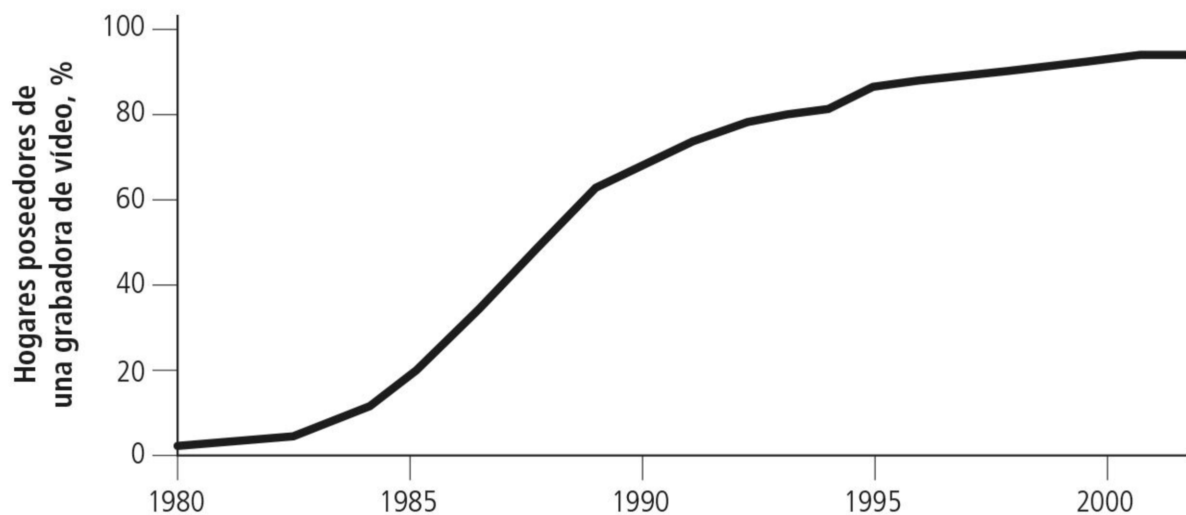


Figura 9. Propietarios de una grabadora de vídeo en los Estados Unidos. Datos: «Media Metrics #6: The Video Revolution», The Progress and Freedom Foundation Blog, 2 de marzo de 2008,
htpp://blog.pff.org/archives/2008/03/print/005037.html.

En la década de 1960, el experto en *marketing* Frank Bass desarrolló lo que era esencialmente una versión extendida del modelo de Ross. [60] A diferencia del análisis descriptivo de Rogers, Bass utilizó su modelo para analizar el tiempo de adopción, así como la forma global del proceso. Al analizar la forma en la cual la gente podría adoptar las innovaciones, Bass podía hacer predicciones sobre la aceptación de una nueva tecnología. En la curva de Rogers, los innovadores son responsables del primer 2,5 por ciento de las adopciones, mientras que el resto de la población lo es del restante 97,5 por ciento. Estos valores son hasta cierto punto arbitrarios: debido a que Rogers se basaba en un método descriptivo, necesitaba conocer la forma completa de la curva en forma de S; solo era posible categorizar a la población una vez que la idea hubiese sido completamente adoptada. Por el contrario, Bass podía usar la forma inicial de la curva de adopción para estimar los papeles relativos de los innovadores y del resto de la población, a los que denominaba «imitadores». En un trabajo de 1966, predijo que la venta de televisores en color —por entonces, todavía en aumento— alcanzaría su pico en 1968. «Las predicciones de la industria eran mucho más optimistas que las mías —recordó más tarde Bass— y por ello era quizá esperable que mi previsión no fuese bien recibida». [61] La predicción de Bass no fue ciertamente muy popular, pero fue mucho más acertada. Las

nuevas ventas se ralentizaron y después alcanzaron un pico, tal como sugería el modelo.

Además de analizar cómo el interés por un producto o una idea alcanza una meseta, también podemos examinar los estadios iniciales de su adopción. Cuando Everett Rogers publicó su trabajo sobre la curva en forma de S a comienzos de la década de 1960, sugirió que una nueva idea «despegaba» una vez que un 20-25 por ciento de personas la habían adoptado. «A partir de ese punto, es probablemente imposible detener toda difusión ulterior de una nueva idea —argumentó— aunque se quisiese». Basándonos en las dinámicas de los brotes, podemos llegar a una definición más precisa de este punto de despegue. En concreto, podemos averiguar cuándo el número de nuevas adopciones está creciendo más rápidamente. A partir de este punto, la escasez de población susceptible comenzará a ralentizar la propagación, provocando que el brote al final alcance una meseta. En el modelo simple de Ross, el crecimiento más rápido se da cuando apenas alrededor de un 21 por ciento de la audiencia potencial ha adoptado la idea. Sorprendentemente, esto es así con independencia de la facilidad con la que se difunda la innovación. [62]

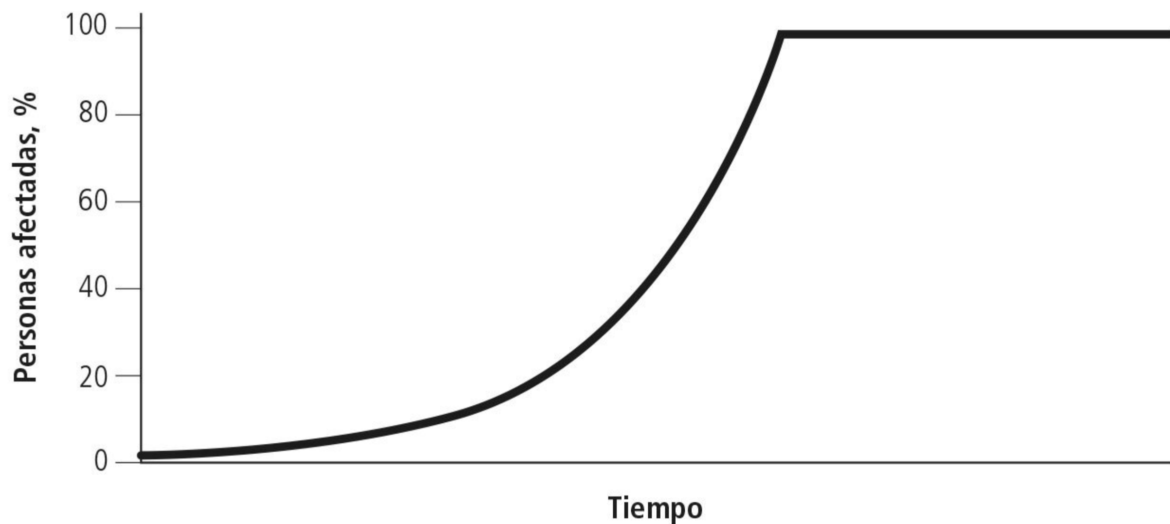


Figura 10. Ejemplo de la curva de un brote que crece exponencialmente hasta que todo el mundo se ve afectado.

El enfoque mecanicista de Ross es útil porque nos muestra que en la vida real pueden ocurrir distintos tipos de eventos. Pensemos en la comparación entre la curva de adopción de las grabadoras de vídeo y la de la propiedad

inmobiliaria: ambas al final alcanzan una meseta, pero la curva de las grabadoras de vídeo crece al principio exponencialmente. Los modelos simples de contagio normalmente predicen este tipo de crecimiento, porque cada nueva adopción crea aún más adopciones, mientras que los modelos de eventos independientes no son capaces de realizar ese tipo de predicciones. Esto no significa que el crecimiento exponencial sea siempre una señal de que algo es contagioso —podría haber otras razones por las cuales la gente adopta crecientemente una tecnología—, pero muestra cómo distintos procesos infecciosos pueden afectar a la forma de un brote.

Si analizamos las dinámicas de un brote, también podemos identificar aquellas formas de la curva que serán muy poco probables. Imaginemos una enfermedad epidémica que se incrementa exponencialmente hasta que toda la población se ve afectada. ¿Qué se requeriría para generar esta forma?

En las grandes epidemias, la transmisión generalmente se ralentiza cuando quedan menos personas susceptibles a las que contagiar. Para que la epidemia siga creciendo cada vez más rápidamente, en sus estadios finales las personas contagiosas tendrían que comenzar a buscar activamente a los susceptibles que queden. Sería el equivalente a coger un resfriado, buscar a todos tus amigos que aún no lo hayan cogido y toserles deliberadamente hasta que se contagien. El escenario más familiar que podría crear esta forma de la curva es, por ello, enteramente ficticio: un grupo de zombis cazando a los pocos humanos supervivientes.

De vuelta a la vida real, unas pocas infecciones afectan a sus portadores de una manera tal que se incrementa la probabilidad de contagio. Los animales infectados con la rabia a menudo son más agresivos, lo que ayuda a que el virus se propague a través de sus mordeduras, [63] y los enfermos de malaria pueden desarrollar un olor que les hace más atractivos para los mosquitos. [64] Pero esos efectos normalmente no son lo suficientemente grandes como para compensar el declinante número de susceptibles en los últimos estadios de la epidemia. Lo que es más, muchas infecciones tienen los efectos opuestos sobre el comportamiento, causando letargo o inactividad, lo que reduce las posibilidades de contagio. [65] Desde las innovaciones hasta las infecciones, las epidemias inevitablemente se ralentizan a medida que es más difícil encontrar población susceptible.

Ronald Ross tenía previsto estudiar todo un conjunto de brotes, pero a medida que sus modelos se hacían más complicados, las matemáticas

también se complicaban. Pudo trazar cómo sería el proceso de transmisión, pero no pudo analizar las dinámicas resultantes. Es entonces cuando buscó la ayuda de Hilda Hudson, profesora en el Instituto Técnico de West Ham, en Londres. [66] Hija de un matemático, Hudson había publicado su primer trabajo de investigación en la revista *Nature* cuando tenía solo diez años. [67] Posteriormente estudió en la Universidad de Cambridge, donde fue la única mujer de su promoción en conseguir la más alta calificación en matemáticas. Aunque igualó los resultados del estudiante masculino que quedó en séptimo lugar, no fue incluida en el listado oficial (hasta 1948 las mujeres no podían recibir títulos oficiales de Cambridge). [68]

Los conocimientos de Hudson hicieron posible expandir la teoría de los eventos, visualizando los patrones que podían generar los diferentes modelos. Algunos de los eventos se expanden lenta y sistemáticamente, afectando gradualmente a todo el mundo. Otros crecen rápidamente y luego decaen. Algunos causan grandes brotes y después descienden a un nivel epidémico menor. Algunos brotes vienen en oleadas regulares, con crecimientos y caídas estacionales, y algunos se reproducen esporádicamente. Ross y Hudson argumentaron que sus métodos abarcarían la mayor parte de los casos reales. En su opinión, «hasta donde nosotros sabemos, el auge y caída de las epidemias puede ser explicado por las leyes generales de los eventos». [69]

Desgraciadamente, los estudios de Hudson y Ross sobre la teoría de los eventos se limitarían a tres artículos. Un obstáculo fue la Primera Guerra Mundial. En 1916, Hudson fue reclutada para ayudar a diseñar aviones de combate como parte del esfuerzo de guerra, un trabajo por el cual más adelante fue galardonada con una Orden del Imperio Británico (OBE, por sus siglas en inglés). [70] Después de la guerra, se encontraron con otro obstáculo: los artículos fueron ignorados por parte de la audiencia a la que iban destinados. «Fue tan poca la atención que les dedicaron las “autoridades sanitarias” que pensé que era inútil continuar», escribió Ross posteriormente.

Cuando Ross empezó a trabajar en la teoría de los eventos, esperaba enfrentarse a «cuestiones relacionadas con la estadística, la demografía, la salud pública, la teoría de la evolución, e incluso el comercio, la política y el gobierno». [71] Era una visión grandiosa, que con el tiempo transformaría nuestra forma de pensar sobre los contagios. No obstante, incluso en el campo de la investigación de las enfermedades infecciosas, pasarían varias

décadas hasta que sus métodos se popularizasen. Y pasaría aún más tiempo antes de que sus ideas se abrieran paso en otras áreas.

---

[8] Dumas, A., *El conde de Montecristo* , 1844-1846, capítulo 117.

[9] SGB en inglés es GBS *(Guillain-Barré syndrome)* . El acrónimo también vale para *getting better slowly* , «mejorando lentamente». *(N. del T.)* .

[10] Kucharski, A. J. *et al.* , «Using paired serology and surveillance data to quantify dengue transmission and control during a large outbreak in Fiji», *eLIFE* , 2018.

[11] Pastula, D. M. *et al.* , «Investigation of a Guillain-Barré syndrome cluster in the Republic of Fiji», *Journal of the Neurological Sciences* , 2017; Musso, D. *et al.* , «Rapid spread of emerging Zika virus in the Pacific area», *Clinical Microbiology and Infection* , 2014; Sejvar, J. J. *et al.* , «Population incidence of Guillain-Barré syndrome: a systematic review and meta-analysis», *Neuroepidemiology* , 2011.

[12] Willison, H. J. *et al.* , «Guillain-Barré syndrome», *The Lancet* , 2016.

[13] Kron, J., «In a remote Ugandan lab, encounters with the Zika virus and mosquitoes decades ago», *New York Times* , 5 de abril de 2016.

[14] Amorim, M. y A. N. Melo, «Revisiting head circumference of Brazilian newborns in public and private maternity hospitals», *Arquivos de Neuro-Psiquiatria* , 2017.

[15] OMS, «WHO statement on the first meeting of the International Health Regulations (2005) (IHR 2005) Emergency Committee on Zika virus and observed increase in neurological disorders and neonatal malformations», 1 de febrero de 2016, https://www.who.int/news-room/detail/01-02-2016-who-statement-on-the-first-meeting-of-the-international-health-regulations-(2005)-(ihr-2005)-emergency-committee-on-zika-virus-and-observed-increase-in-neurological-disorders-and-neonatal-malformations.

[16] Por sus siglas PHEIC, Public Health Emergency of International Concern. *(N. del T.)* .

[17] Rasmussen, S. A. *et al.* , «Zika virus and birth defects: reviewing the evidence for causality», *New England Journal of Medicine* , 2016.

[18] Rodrigues, L. C., «Microcephaly and Zika virus infection», *The Lancet* , 2016

[19] A menos que se indique lo contrario, la información sobre esta historia proviene de las siguientes fuentes: Ross, R., *The Prevention of Malaria* , Nueva York: Dutton, 1910; Ross, R., *Memoirs, with a Full Account of the Great Malaria Problem and Its Solution* , Londres: J. Murray, 1923.

[20] Barnes, J., *The Beginning of the Cinema in England, 1894-1901* , vol. 1, 1894-1896, Exeter: University of Exeter Press, 2015.

[21] Joy, D. A. *et al.* , «Early origin and recent expansion of *Plasmodium falciparum* », *Science* , 2003.

[22] Mason-Bahr, P., «The jubilee of Sir Patrick Manson; a tribute to his work on the malaria problem», *Postgraduate Medical Journal* , 1938.

[23] To, K. W. K. y K.-Y. Yuen, «In memory of Patrick Manson, founding father of the tropical medicine and the discovery of vector-borne infections», *Emerging Microbes and Infections* , 2012.

[24] Burton, R., *First Footsteps in East Africa* , Londres, 1856.

[25] Hsu, E., «Reflections on the 'discovery' of the antimalarial *qinghao* », *British Journal of Clinical Pharmacology* , 2006.

[26] Sallares, R., *Malaria and Rome: A History of Malaria in Ancient Italy* , Oxford: Oxford University Press, 2002.

[27] Ross afirmaba que se había advertido a los participantes, y que los riesgos del experimento estaban justificados: «Pienso que este experimento está justificado por la enorme relevancia de obtener un resultado positivo y porque siempre tenía a mano una dosis de quinina» (Ross, *Memoirs*). No obstante, no está claro hasta qué punto los participantes fueron informados de los riesgos, y, por otro lado, la quinina no es tan efectiva como los tratamientos empleados en los estudios modernos sobre la malaria (Achan, J. *et al.* , «Quinine, an old anti-malarial drug in a modern world: role in the treatment of malaria», *Malaria Journal* , 2011). Nos referiremos con más detalle en el capítulo 7 a las cuestiones éticas relativas a los experimentos con humanos.

[28] Bhattacharya, S. *et al.* , «Ronald Ross: known scientist, unknown man», *Science and Culture* , 2010.

[29] Chernin, E., «Sir Ronald Ross vs. Sir Patrick Manson: a matter of libel», *Journal of the History of Medicine and Allied Sciences* , 1988.

[30] Manson-Bahr, P., *History of the School of Tropical Medicine in London, 1899-1949* , Londres: H. K. Lewis, 1956.

[31] Reiter, P., «From Shakespeare to Defoe: Malaria in England in the Little Ice Age», *Emerging Infectious Diseases* , 2000.

[32] High, R., «The Panama Canal: the American canal construction», *International Construction* , octubre de 2008.

[33] Griffiths, S. M. *et al.* , «A historical perspective on malaria control in Brazil», *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* , 2015.

[34] Jorland, G. *et al.* , *Body Counts: Medical Quantification in Historical and Sociological Perspectives* , Montreal: McGill-Queen's University Press, 2005.

[35] Fine, P. E. M., «John Brownlee and the measurement of infectiousness: an historical study in epidemic theory», *Journal of the Royal Statistical Society, Series A* , 1979.

[36] Fine, P. E. M., «Ross's *a priori* pathometry: a perspective», *Proceedings of the Royal Society of Medicine* , 1975.

[37] Ross, R., «The mathematics of malaria», *The British Medical Journal* , 1911.

[38] Reiter, «From Shakespeare to Defoe».

[39] Fuentes sobre McKendrick: Gani, J., «Anderson Gray McKendrick», *StatProb: The Encyclopedia Sponsored by Statistics and Probability Societies* . Una adaptación del artículo disponible para el público en general se puede encontrar aquí: www.encyclopediaofmath.org/index.php/McKendrick_Anderson_Gray (consultado el 29 de febrero de 2020).

[40] McKendrick a Ross, carta GB 0809 Ross/106/28/60, cortesía del Servicio de Biblioteca y Archivos, London School of Hygiene and Tropical Medicine, © Ross Family.

[41] McKendrick a Ross, carta GB 0809 Ross/106/28/112, cortesía del Servicio de Biblioteca y Archivos, London School of Hygiene and Tropical Medicine, © Ross Family.

[42] Heesterbeek, J. A., «A brief history of R0 and a recipe for its calculation», *Acta Biotheoretica* , 2002.

[43] Fuentes sobre Kermack: Davidson, J. N., «William Ogilvy Kermack», *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society* , 1971; Coutinho, S. C., «A lost chapter in the pre-history of algebraic analysis: Whittaker on contact transformations», *Archive for History of Exact Sciences* , 2010.

[44] Kermack, W. O. y A. G. McKendrick, «A contribution to the mathematical theory of epidemics», *Proceedings of the Royal Society A* , 1927.

[45] Por los nombres en inglés de los tres grupos: *susceptible* , *infectious* , *recovered* . *(N. del T.)* .

[46] Fine, P. E. M., «Herd immunity: history, theory, practice», *Epidemologic Reviews* , 1993; Farewell, V. y T. Johnson, «Major Greenwood (1880-1949): a biographical and bibliographical study», *Statistics in Medicine* , 2015.

[47] Dudley, S. F., «Herds and individuals», *Public Health* , 1928.

[48] Hendrix, K. S. *et al.* , «Ethics and childhood vaccination policy in the United States», *American Journal of Public Health* , 2016.

[49] Fine, «Herd immunity».

[50] Duffy, M. R. *et al.* , «Zika virus outbreak on Yap Island, Federated States of Micronesia», *New England Journal of Medicine* , 2009.

[51] Cao-Lormeau, V.-M. *et al.* , «Guillain-Barré syndrome outbreak associated with Zika virus infection in French Polynesia: a case-control study», *The Lancet* , 2016.

[52] Stoddard, S. T. *et al.* , «House-to-house human movement drives dengue virus transmission», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* , 2012.

[53] Kucharski, A. J. *et al.* , «Transmission dynamics of Zika virus in island populations: a modelling analysis of the 2013-14 French Polynesia outbreak», *PLOS Neglected Tropical Diseases* , 2016.

[54] Faria, N. T. *et al.* , «Zika virus in the Americas: early epidemiological and genetic findings», *Science* , 2016.

[55] Andronico, A. *et al.* , «Real-time assessment of health-care requirements during the Zika virus epidemic in Martinique», *American Journal of Epidemiology* , 2017.

[56] Rozé, B. *et al.* , «Guillain-Barré syndrome associated with Zika virus infection in Martinique in 2016: a prospective study», *Clinical Infectious Diseases* , 2017.

[57] Fine, «Ross's *a priori* pathometry: a perspective».

[58] Ross, R., «An application of the theory of probabilities to the study of *a priori* pathometry: part I», *Proceedings of the Royal Society A* , 1916.

[59] Rogers, E. M., *Diffusion of Innovations* , 3.ª ed., Nueva York: Free Press, 1983.

[60] Información a partir de Bass, F. M., «A new product growth for model consumer durables», *Management Science* , 1969.

[61] Bass, F. M., «Comments on "A new product growth for model consumer durables"», *Management Science* , 1969.

[62] El modelo simple «susceptibles-infectados» de Ross puede escribirse como $dS/dt = -bSI$, $dI/dt = bSI$, donde b es la tasa de infecciones. La tasa pico de nuevas infecciones se produce cuando dI/dt se incrementa más rápidamente, es decir, cuando la segunda derivada de dI/dt es igual a cero. Utilizando la regla del producto, obtenemos: $I = (3 - \sqrt{3}) / 6 = 0,21$.

[63] Jackson, A. C., «Diabolical effects of rabies encephalitis», *Journal of NeuroVirology* , 2016.

[64] Robinson, A. *et al.* , «Plasmodium-associated changes in human odor attract mosquitoes», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* , 2018.

[65] Van Kerckhove, K. *et al.* , «The impact of illness on social networks: implications for transmission and control of influenza», *American Journal of Epidemiology* , 2013.

[66] Información sobre Hudson: O'Connor, J. J. *et al.* , «Hilda Phoebe Hudson», Archivos McTutor de Historia de las Matemáticas, noviembre de 2002, http://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Hudson.html; Warwick, A., *Masters of Theory: Cambridge and the Rose of Mathematical Physics* , Chicago: University of Chicago Press, 2003.

[67] Hudson, H., «Simple proof of Euclid II.9 and 10», *Nature* , 1891.

[68] Chambers, S., «At last, a degree of honour for 900 Cambridge women», *The Independent* , 30 de mayo de 1998.

[69] Ross, R. y H. Hudson, «An application of the theory of probabilities to the study of *a priori* pathometry: part II and part III», *Proceedings of the Royal Society A* , 1917.

[70] Carta GB 0809 Ross/161/11/01, cortesía de la Biblioteca y Servicio de Archivos, London School of Hygiene and Tropical Medicine, © Familia Ross; Aubin, D. *et al.* , *The War of Guns and Mathematics; Mathematical Practices and Communities in France and Its Western Allies Around World War I* , American Mathematical Society, 2014.

[71] Ross, R., «An application of the theory of probabilities to the study of *a priori* pathometry: part I».

02

Pánicos y pandemias

«Puedo calcular los movimientos de los cuerpos celestes, pero no la locura humana». Según la leyenda, Isaac Newton pronunció esta frase después de perder una fortuna invirtiendo en la Compañía de los Mares del Sur. Había comprado acciones a finales de 1719 e inicialmente su inversión se vio recompensada, así que decidió venderlas. No obstante, el precio de las acciones siguió subiendo, y Newton —lamentando su precipitada decisión de vender— volvió a comprar. Cuando la burbuja estalló unos pocos meses después, perdió veinte mil libras esterlinas, el equivalente actual a veinte millones de libras. [72]

El historial en el campo de los mercados financieros de las grandes mentes académicas es más bien desigual. Algunos, como los matemáticos Edward Thorp y James Simons, crearon exitosos fondos de inversión, que generaron enormes beneficios. En otros casos, el dinero ha fluido más bien en la dirección opuesta. Tomemos por ejemplo el fondo de inversión Long Term Capital Management (LTCM), [73] que sufrió pérdidas masivas tras las crisis financieras asiática y rusa de 1997 y 1998. Con dos premios Nobel de Economía en su consejo de dirección y unos generosos beneficios iniciales, era la envidia de Wall Street. Los bancos de inversión le habían prestado cuantiosas cantidades de dinero para desarrollar estrategias comerciales cada vez más ambiciosas, hasta el punto de que cuando el fondo se arruinó en 1998, tenía un pasivo de 100.000 millones de dólares. [74]

A mediados de la década de 1990, se popularizó una nueva expresión entre los banqueros: el «contagio financiero». Describía la propagación de los problemas económicos de un país a otro. La crisis financiera asiática es un buen ejemplo. [75] No fue la crisis en sí lo que golpeó a fondos como LTCM, sino más bien las ondas indirectas que se propagaron a través de otros mercados. Y al haber prestado tanto al fondo LTCM, los bancos

también se vieron afectados. Cuando algunos de los más poderosos banqueros de Wall Street se reunieron en la décima planta de la Reserva Federal de Nueva York el 23 de septiembre de 1998, fue debido a ese temor al contagio. Para evitar que los problemas que experimentaba el LTCM se propagasen a otras instituciones, acordaron un rescate de 3.600 millones de dólares. Fue una cara lección, pero desgraciadamente no se sacaron las adecuadas enseñanzas. Casi diez años después, los mismos bancos volverían a enfrentarse al contagio financiero. En esta ocasión, fue mucho peor.

Pasé el verano de 2008 pensando cómo comprar y vender el concepto estadístico de correlación. Acababa de terminar mi penúltimo año de universidad y estaba trabajando de becario en un banco de inversión en la zona de Canary Wharf en Londres. La idea básica era simple. La correlación mide cómo las cosas se mueven en paralelo unas de las otras: si un mercado de valores está fuertemente correlacionado, las acciones tenderán a subir y a bajar conjuntamente; si no está correlacionado, algunas acciones subirán mientras que otras bajarán. Si piensas que las acciones se van a comportar igual en el futuro, lo ideal será tener una estrategia comercial que se beneficie de esta correlación. Mi trabajo era ayudar a desarrollar esa estrategia.

La correlación no es solo un tema especializado para mantener ocupado al becario versado en matemáticas. Resultó crucial para entender por qué el año 2008 terminaría con una crisis financiera a gran escala. También ayuda a explicar cómo se propagan los contagios, en campos que van desde el comportamiento social hasta las infecciones de transmisión sexual. Como veremos, es algo que, al final, llevaría al análisis de los brotes al centro mismo de las modernas finanzas.

Ese verano cogía todas las mañanas el tren ligero de las Docklands para ir al trabajo. Justo antes de mi parada en Canary Wharf, el tren pasaba al lado del rascacielos situado en el número 25 de Bank Street. Era la sede de Lehman Brothers. Cuando solicité la beca a finales de 2007, Lehman era uno de los destinos más codiciados. Era parte de la elite de los grandes bancos de inversión, que también incluía empresas como Goldman Sachs, JP Morgan y Merrill Lynch. Bear Stearns también había sido miembro del club, hasta su colapso en marzo de 2008.

Bear, como lo llamaban los banqueros, se había arruinado debido a una serie de inversiones fallidas en el mercado hipotecario. Poco después, JP

Morgan compró su cadáver por menos de un 10 por ciento de su valor anterior a la quiebra. Durante ese verano, toda la industria financiera se dedicó a especular sobre qué empresa sería la siguiente en caer. Lehman parecía estar la primera de la lista.

Para los estudiantes de matemáticas, una beca en finanzas era el camino brillantemente iluminado que te distraía de todos los demás. Todos los compañeros que conocí en mi curso de licenciatura, con independencia de cuál sería su carrera final, solicitaron una de esas becas. Llevaba aproximadamente un mes de becario cuando cambié de opinión y decidí hacer el doctorado en lugar de buscar una oferta laboral. Un factor determinante que me llevó a esa decisión fue el curso de epidemiología que había realizado a principios de ese año. Estaba fascinado con la idea de que los brotes de enfermedades no tenían por qué ser unos eventos misteriosos e impredecibles. Con los métodos adecuados, podíamos estudiarlos, descubrir qué pasaba en realidad y, con suerte, hacer algo al respecto.

Pero antes tenía que descubrir qué pasaba a mi alrededor en Canary Wharf. A pesar de haber decidido iniciar otra carrera distinta, seguía queriendo comprender qué era lo que ocurría en la industria bancaria. ¿Por qué filas y filas de mesas de operaciones se habían quedado vacías? ¿Por qué célebres ideas financieras se estaban derrumbando? ¿Y cuánto iba a empeorar la situación?

Estaba asignado a los mercados de capitales, analizando los precios de las acciones de empresas, pero en los años precedentes, el verdadero beneficio había estado en las inversiones basadas en créditos. Entre ellas, destacaba una en particular: los bancos habían amalgamado juntos hipotecas y otros préstamos en obligaciones de deuda garantizadas (CDO, por sus siglas en inglés). Estos productos hacían que los inversores asumiesen parte de los riesgos de los prestatarios de hipotecas y obtuviesen beneficios a cambio. [76] Eran productos financieros que podían ser extremadamente lucrativos. Sajid Javid, que en 2019 fue nombrado ministro de Hacienda del Reino Unido, ganó supuestamente tres millones de libras en un año con la comercialización de varios productos crediticios antes de dejar la banca en 2009. [77]

Las CDO se basaban en una idea tomada de la industria de los seguros. Las aseguradoras se dieron cuenta de que era más probable que alguien muriese tras la muerte de su cónyuge, un efecto social conocido como «el síndrome del corazón roto». A mediados de la década de 1990,

desarrollaron una forma de tener en cuenta este efecto cuando calculaban los costes de los seguros. Los banqueros no tardaron en coger prestada la idea y usarla para otros menesteres. En lugar de en las muertes, los banqueros estaban interesados en qué pasaba cuando alguien incurría en el impago de su hipoteca. ¿Otros hogares seguirían su ejemplo? El empleo de modelos matemáticos es algo común en el mundo de las finanzas, así como en otros campos. Tal como señaló el matemático financiero Emanuel Derman, «los seres humanos tienen una capacidad de predicción limitada y una gran imaginación, por lo que es inevitable que un modelo se use para objetivos que nunca fueron la intención de su creador». [78]

Desgraciadamente, los modelos hipotecarios tenían algunos fallos importantes. Quizá el mayor problema era que se basaban en los precios históricos de la vivienda, que habían estado creciendo durante la mayor parte del tiempo durante dos décadas. Este periodo histórico sugería que el mercado hipotecario no estaba particularmente correlacionado: si alguien en Florida dejaba de pagar una mensualidad, por ejemplo, eso no significaba que alguien en California también lo hiciese. Aunque había habido cierta especulación acerca de que la vivienda estaba experimentando una burbuja destinada a estallar, la mayoría seguía siendo optimista. En julio de 2005, la CNBC entrevistó a Ben Bernanke, que dirigía el Consejo de Asesores Económicos del presidente Bush y en breve sería nombrado presidente de la Reserva Federal de los Estados Unidos. ¿Cuál pensaba Bernanke que era el peor escenario posible? ¿Qué pasaría si los precios caían en todo el país? «Es algo muy poco probable —contestó Bernanke—. Nunca se ha producido una caída de los precios de la vivienda a escala nacional». [79]

En febrero de 2007, un año antes del colapso de Bear Stearns, la especialista en créditos Janet Tavakoli escribió sobre el crecimiento de productos de inversión como las CDO. No estaba especialmente deslumbrada por los modelos empleados para estimar correlaciones entre hipotecas. Al partir de unos supuestos que estaban muy alejados de la realidad, estos modelos habían creado, de hecho, una ilusión matemática, una forma de hacer que unos préstamos de alto riesgo pareciesen inversiones de bajo riesgo. [80] En su opinión, «la comercialización basada en estas correlaciones se había propagado a todo lo largo de la psique de los mercados financieros como un virus del pensamiento altamente contagioso». «Hasta ahora, ha habido pocas bajas, pero varias víctimas han enfermado, y la enfermedad se está propagando rápidamente». [81] Otros

analistas compartían sus críticas y consideraban que los métodos populares de correlación eran una forma excesivamente simplista de analizar los productos hipotecarios. Se decía que uno de los más importantes fondos de inversión tenía un ábaco en una de sus salas de conferencias con una etiqueta en la que se leía «modelo de correlación». [82]

A pesar de los problemas con los modelos, los productos hipotecarios siguieron siendo populares. Y entonces la realidad se impuso, a medida que los precios de la vivienda empezaron a caer. Durante ese verano de 2008, llegué a la conclusión de que mucha gente era consciente de las implicaciones potenciales de esos malos modelos. El valor de las inversiones disminuía día tras día, pero eso no parecía importar en tanto que inversores ingenuos siguieran comprando. Era como llevar un saco de dinero que sabes que tiene un agujero enorme, pero no te importa porque sigues metiendo mucho más.

Como estrategia, la verdad es que tenía muchos agujeros. En agosto de 2008 menudeaban las especulaciones sobre hasta qué punto las bolsas de dinero estaban vacías. Todos los bancos del distrito financiero de Londres estaban buscando nuevas fuentes de financiación, compitiendo por cortejar a los fondos soberanos de Oriente Medio. Recuerdo a agentes de bolsa parando por los pasillos a becarios que pasaban por ahí para contarles la última bajada del precio de las acciones de Lehman. Yo caminaba al lado de mesas de operaciones vacías, antaño ocupadas por ahora despedidos equipos de gestores de CDO. Algunos de mis colegas miraban con nerviosismo cuando pasaba un guardia de seguridad, preguntándose si ellos serían los siguientes. El miedo se estaba propagando. Y entonces llegó el hundimiento.

El auge de los productos financieros complejos —y la caída de fondos como Long Term Capital Management— había persuadido a los bancos centrales de que necesitaban comprender la enmarañada red del comercio financiero. En mayo de 2006, la Reserva Federal de Nueva York organizó una conferencia para discutir el «riesgo sistémico». Querían identificar los factores que podrían afectar a la estabilidad del sistema financiero. [83]

Los participantes en la conferencia provenían de distintos campos. Uno de ellos era el ecólogo George Sugihara. Su laboratorio en San Diego se dedicaba al estudio de la conservación marina, utilizando modelos para comprender las dinámicas de las poblaciones de peces. Sugihara también

estaba familiarizado con el mundo de las finanzas, tras haber trabajado cuatro años en el Deutsche Bank a finales de la década de 1990. Durante esa época, los bancos habían expandido rápidamente sus equipos cuantitativos con personas que tuviesen experiencia en modelos matemáticos. En el intento de reclutar a Sugihara, Deutsche Bank le pagó un lujoso viaje a una casa señorial en la campiña inglesa. Al parecer, durante la cena, un alto cargo del banco escribió una muy generosa oferta salarial en una servilleta. Un sorprendido Sugihara no supo qué contestar. Al confundir el silencio de Sugihara con una negativa, el banquero cogió la servilleta y escribió una cifra aún mayor. Hubo otra pausa, seguida de otra cifra. Esta vez, Sugihara aceptó la oferta. [84]

Esos años de trabajo en Deutsche Bank serían muy lucrativos para ambas partes. Aunque los datos eran sobre activos financieros, no sobre peces, Sugihara aplicó con éxito su experiencia con los modelos predictivos a este nuevo campo. «Básicamente, modelicé el miedo y la avaricia de mafiosos que negocian entre ellos», dijo más tarde a la revista *Nature* . [85]

Otro de los participantes en la discusión organizada por la Reserva Federal fue Robert May, que había sido el director de tesis de Sugihara. Ecólogo de formación, May había trabajado intensamente en el análisis de las enfermedades infecciosas. Aunque May se había acercado a la investigación financiera en gran medida por accidente, publicaría varios estudios sobre el contagio en los mercados financieros. En un artículo de 2013 para la publicación médica *The Lancet* , señaló la aparente similitud entre los brotes de enfermedades y las burbujas financieras. «El crecimiento reciente en los activos financieros y el hundimiento subsiguiente tienen la misma forma que el típico crecimiento y caída del número de casos en un brote de sarampión u otra infección», escribió. May también señaló que cuando la epidemia de una enfermedad infecciosa crece, son malas noticias, y cuando cae, son buenas. Por el contrario, se suele ver como algo positivo que los precios de los activos financieros crezcan y como algo negativo que caigan. Pero él consideraba que se trataba de una distinción falsa: un aumento de los precios no es siempre una buena señal. Tal como afirmó en una ocasión, «cuando algo crece sin una explicación convincente de por qué está creciendo, realmente lo que vemos es una ilustración de la estupidez de la gente». [86]

Una de las burbujas históricas más conocidas es la «locura de los tulipanes» que se adueñó de los Países Bajos en la década de 1630. En la

cultura popular, es un ejemplo clásico de locura financiera. Ricos y pobres dedicaron cada vez más dinero a comprar flores, hasta el punto de que los bulbos de los tulipanes alcanzaron precios similares a los de la vivienda. Un marinero que confundió un bulbo con una sabrosa cebolla terminó en la cárcel. Dice la leyenda que cuando el mercado se hundió en 1637 la economía se resintió y algunas personas se suicidaron arrojándose a los canales. [87] Y, no obstante, según Anne Goldgar, del King's College de Londres, la realidad no fue para tanto. No encontró ningún registro de personas arruinadas por el hundimiento del valor de los tulipanes. Solo un puñado de ricos se vieron salpicados por la caída del precio de los tulipanes más caros. La economía no se vio afectada. Nadie se ahogó. [88]

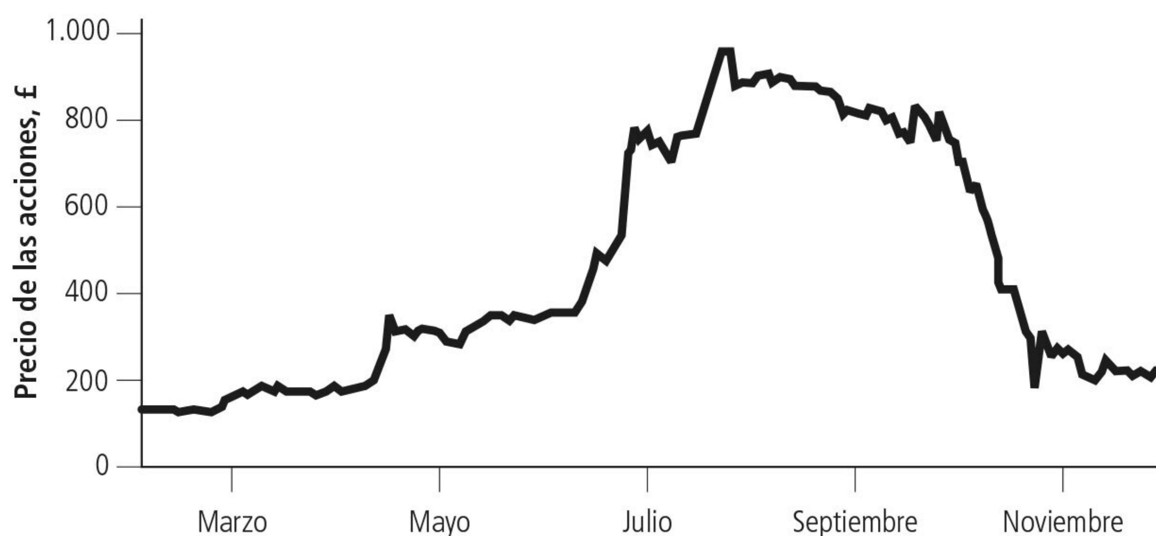


Figura 11. Precio de las acciones de la Compañía de los Mares del Sur, 1720. Fuente: Frehen, R. G. P. et al., «New evidence on the first financial bubble», *Journal of Financial Economics* , 2013. Reproducido con permiso del autor.

Otras burbujas han generado un impacto mucho mayor. La primera vez que se usó ese término para describir inversiones infladas fue durante la burbuja de la Compañía de los Mares del Sur. [89] Fundada en 1711, la Compañía Británica de los Mares del Sur controlaba varios contratos de comercio y de esclavos en América. En 1719, se aseguró un lucrativo acuerdo financiero con el Gobierno británico. Al año siguiente, el precio de las acciones de la compañía despegó, multiplicándose por cuatro en cuestión de semanas, antes de caer de una manera igual de precipitada un par de meses después.

Isaac Newton había vendido la mayoría de sus acciones en la primavera de 1720, pero durante el pico de su precio en el verano, volvió a invertir. Según el matemático Andrew Odlyzko, «Newton no solo probó la locura de la burbuja, sino que se emborrachó de ella». Algunos programaron algo mejor sus inversiones. El librero Thomas Guy, un inversor inicial, se salió antes del pico y empleó sus ganancias para crear el hospital Guy de Londres. [90]

Desde entonces ha habido muchas otras burbujas, desde la locura por los ferrocarriles en Gran Bretaña en la década de 1840 hasta la burbuja de las puntocom en los Estados Unidos a finales de la década de 1990. En las burbujas generalmente se van acumulando los inversores, lo que lleva a un rápido auge de los precios, seguido de un desplome cuando estalla la burbuja. Odlyzko las denomina «esas hermosas ilusiones», que tientan a los inversores a que se alejen de la realidad. Durante una burbuja, los precios pueden subir muy por encima de los valores que estarían lógicamente justificados. A veces la gente invierte simplemente basándose en la asunción de que otros muchos se unirán después, aumentando así el valor de su inversión. [91] Esto puede llevar a lo que se conoce como «teoría del tonto mayor»: la gente puede ser consciente de que es estúpido comprar algo caro, pero creen que ahí fuera hay alguien aún más tonto que se lo comprará a su vez a un precio más alto. [92]

Uno de los ejemplos más extremos de la teoría del tonto mayor es un esquema piramidal. Este tipo de esquemas adopta formas diversas, pero todas ellas tienen una premisa básica. Los reclutadores animan a la gente a invertir, con la promesa de que obtendrán una parte del total acumulado si pueden reclutar a un número suficiente de nuevos inversores. Debido a que los esquemas piramidales siguen un formato rígido, son relativamente fáciles de analizar. Supóngase que un esquema de este tipo empieza con diez inversores, cada uno de los cuales tiene que reclutar a otros diez para obtener sus dividendos. Si se las arreglan para convencer a otros diez, eso supondrá cien nuevos inversores. Cada uno de los nuevos reclutas tiene que persuadir a otros diez, lo que hará que el esquema crezca hasta incluir a mil personas. Expandirse un paso más requeriría otras diez mil personas, después cien mil, después un millón. Al poco tiempo, simplemente no queda gente susceptible de ser convencida a unirse al plan; al final la burbuja probablemente estalle después de unas pocas rondas de reclutamiento. Si conocemos cuánta gente es susceptible de ser convencida

y es factible que se una, podemos, por tanto, predecir cuándo fracasará el plan.

Dada su naturaleza insostenible, los esquemas piramidales son generalmente ilegales. Pero el potencial de crecimiento rápido, y el dinero que genera para aquellos que están en su cúspide, significa que seguirán siendo una opción popular para los estafadores, particularmente si el grupo de potenciales participantes es grande. En China, algunas estafas piramidales —o «culto a los negocios», como las denominan las autoridades— han alcanzado proporciones gigantescas. Desde 2010, varios de estos planes se las han arreglado para reclutar alrededor de un millón de inversores cada uno. [93]

Una característica definitoria de una burbuja es que crece rápidamente, con una tasa de adquisiciones que se incrementa con el tiempo. Las burbujas a menudo muestran lo que se conoce como un crecimiento «superexponencial»; [94] no solo se aceleran las adquisiciones, sino que la propia aceleración se acelera. Con cada incremento de precio, más inversores se unen, incrementando más aún el precio. Y como en una infección, cuanto más rápido crece una burbuja, más rápidamente se expande entre la población de personas susceptibles.

Desgraciadamente, puede ser difícil averiguar cuánta gente es todavía susceptible a la infección en un determinado momento. Este es un problema común cuando se analiza un brote: durante la fase inicial de crecimiento, es difícil determinar exactamente en qué punto estamos. En el caso de los brotes de enfermedades infecciosas, eso depende en gran medida de cuántos contagios son registrados como casos. Supongamos que la mayoría de los contagios no son registrados. Esto significa que por cada caso que vemos, hay muchas otras infecciones, lo que reduce el número de personas que siguen siendo susceptibles. Por el contrario, si la mayoría de los contagios son registrados, muchas personas pueden todavía estar en riesgo de contagiarse. Una forma de abordar este problema es realizar análisis de sangre a toda la población. Si la mayoría ya se ha infectado y ha desarrollado inmunidad a la enfermedad, es poco probable que el brote pueda durar mucho más. Por supuesto, no siempre es posible reunir un gran número de muestras en un corto espacio de tiempo. Pero incluso en ese caso, podríamos decir algo sobre el tamaño máximo posible del brote. Por definición, es imposible tener más infecciones que el tamaño de la población.

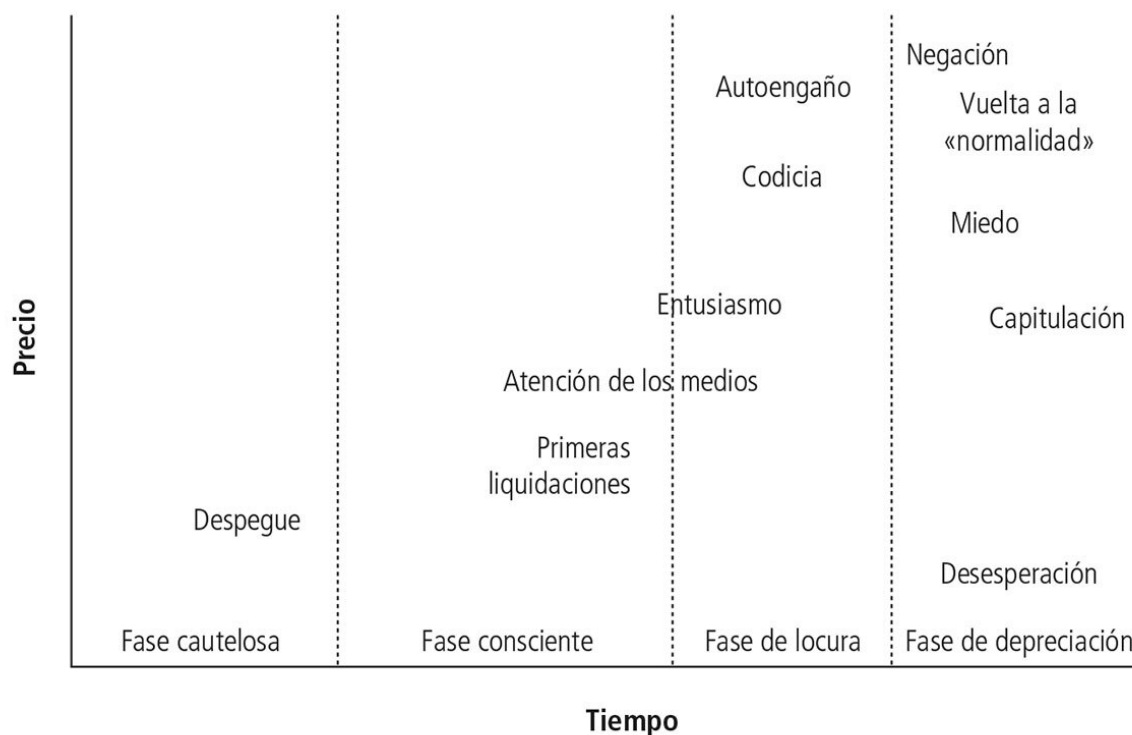


Figura 12. Las cuatro fases de una burbuja.
Adaptado a partir del gráfico original de Jean-Paul Rodrigue.

Las cosas no son tan sencillas en el caso de las burbujas financieras. Pueden producirse casos de apalancamiento, en los que la gente se endeuda para financiar nuevas inversiones. Esto hace mucho más difícil estimar cuál es el grado de susceptibilidad, y, por tanto, en qué fase de la burbuja estamos. Aun así, siempre es posible identificar las señales de un crecimiento insostenible. A medida que la burbuja de las puntocom crecía a finales de la década de 1990, una justificación común para el crecimiento de los precios era que el tráfico de internet se doblaba cada cien días. Esto explicaba por qué las compañías de infraestructuras estaban siendo valoradas en cientos de miles de millones de dólares y por qué los inversores estaban inundando de dinero a proveedores de internet como WorldCom. Pero esa justificación era absurda. En 1998, Andrew Odlyzko, que entonces trabajaba como investigador en los laboratorios de AT&T, se dio cuenta de que internet estaba creciendo a una tasa mucho menor, doblando su tamaño más o menos cada año. [95] En una nota de prensa, WorldCom había afirmado que la demanda de los usuarios estaba creciendo un 10 por ciento cada semana. Para que este crecimiento fuese sostenible, se necesitaría que en un año aproximadamente, toda la población del

planeta estuviese activa *online* las veinticuatro horas del día. [96] No hay suficiente gente susceptible para eso.

Seguramente la mayor burbuja de los últimos años ha sido el *bitcoin* , que usa un historial compartido de transacciones públicas con un cifrado estricto para crear una moneda digital descentralizada. O, tal como lo describió el cómico John Oliver, «todo lo que no entiendes sobre el dinero combinado con todo lo que no entiendes sobre ordenadores». [97] El precio de un *bitcoin* escaló hasta casi veinte mil dólares en diciembre de 2017, para caer a menos de una quinta parte de ese valor un año después. [98] Fue la última de una serie de miniburbujas; los precios del *bitcoin* habían subido y se habían desplomado en varias ocasiones desde el surgimiento de la moneda en 2009. Los precios volverían a subir de nuevo a mediados de 2019.

Cada burbuja del *bitcoin* implicaba un número mayor de personas susceptibles, como si se tratase de un brote que gradualmente se propagase desde una aldea a un pueblo y finalmente a la ciudad. Al principio, atrajo a un pequeño grupo de inversores; estos inversores iniciales comprendían la tecnología del *bitcoin* y creían en su valor subyacente. Después se unieron un conjunto más amplio de inversores, que trajeron más dinero y precios más altos. Finalmente, el *bitcoin* llegó al mercado de masas, con cobertura en las primeras páginas de los periódicos y anuncios en el transporte público. El retardo entre los picos históricos del *bitcoin* sugiere que la idea no se expandió muy eficientemente entre los distintos grupos. Si las poblaciones susceptibles están fuertemente conectadas, una epidemia generalmente alcanzará el pico aproximadamente al mismo tiempo, no como una serie de brotes más pequeños.

Según Jean-Paul Rodrigue, se produce un cambio de rumbo dramático durante la principal fase de crecimiento de una burbuja. La cantidad de dinero disponible se incrementa, mientras que el nivel de conocimiento medio disminuye. En ese momento, sugirió, «el mercado se vuelve gradualmente más exuberante a medida que los "inversores" regulares construyen "fortunas de papel" y aparece la codicia». [99] El economista Charles Kindleberger, que escribió con Robert Aliber el emblemático libro *Manías, pánicos y cracs* (1978), enfatizó el papel del contagio social durante esta fase de una burbuja: «No hay nada más perturbador para el bienestar y el buen juicio que ver cómo un amigo tuyo se hace rico». [100] El deseo de los inversores de ser parte de la tendencia de moda puede hacer

que las advertencias contra una burbuja resulten incluso contraproducentes. Durante la locura británica de los ferrocarriles en la década de 1840, periódicos como *The Times* de Londres argumentaron que la inversión en ferrocarriles estaba creciendo demasiado rápido, poniendo a otras partes de la economía potencialmente en riesgo. Pero esto solo sirvió para animar a los inversores, que lo vieron como una prueba de que los precios de las acciones de las compañías de ferrocarriles continuarían subiendo. [101]

En los últimos estadios de una burbuja, el temor se puede propagar de la misma manera que el entusiasmo. La primera onda en la superficie de la burbuja inmobiliaria de 2008 apareció en abril de 2006, cuando los precios de la vivienda en los Estados Unidos alcanzaron su pico. [102] Empezó a cuajar la idea de que las inversiones inmobiliarias eran mucho más arriesgadas de lo que la gente había pensado, una idea que se extendería por toda la industria, y que finalmente derribaría bancos enteros. Lehman Brothers colapsaría el 15 de septiembre de 2015, más o menos una semana después de que terminase mi beca en Canary Wharf. A diferencia del rescate del fondo Long Term Capital Management, en este caso no habría un salvador. El colapso de Lehman generó el temor de que todo el sistema financiero global pudiera hundirse. En los Estados Unidos y Europa, los Gobiernos y los bancos centrales proporcionaron alrededor de catorce billones de dólares para apuntalar la industria. La magnitud de la intervención reflejaba hasta qué punto se habían expandido las inversiones bancarias en las décadas anteriores. Entre las décadas de 1880 y 1960, los activos de los bancos británicos suponían generalmente la mitad de la economía del país. En 2008, quintuplicaban el tamaño de la economía. [103]

No era consciente de ello en ese momento, pero mientras yo abandonaba las finanzas por una carrera en epidemiología, en otra parte de Londres estos dos campos se estaban encontrando. En Threadneedle Street, el Banco de Inglaterra estaba batallando por limitar las consecuencias del colapso de Lehman. [104] Más que nunca, estaba claro que se había sobrestimado la estabilidad de los mercados financieros. Las asunciones tan populares sobre su robustez y resistencia ya no se sostenían; el contagio era un problema mucho mayor de lo que la gente pensaba.

Ahí es donde entraron los investigadores de enfermedades. Basándose en lo aprendido en la conferencia de 2006 en la Reserva Federal, Robert May había empezado a discutir el problema con otros científicos. Uno de ellos era Nim Arinaminpathy, un colega de May en la Universidad de Oxford.

Arinaminpathy recordó que antes de 2007 era poco corriente estudiar el sistema financiero como un todo. «Había mucha fe en la idea de que el vasto y complejo sistema financiero se autocorregía —dijo—. La actitud era: "No necesitamos saber cómo funciona el sistema; nos podemos concentrar en las instituciones individuales"». [105] Por desgracia, los sucesos de 2008 revelarían la debilidad de ese enfoque. Sin duda había una forma mejor de hacer las cosas.

A finales de la década de 1990, May había desempeñado el cargo de científico jefe del Gobierno del Reino Unido. Como parte de ese cargo, había llegado a conocer a Mervyn King, que posteriormente sería el gobernador del Banco de Inglaterra. Cuando estalló la crisis de 2008, May sugirió que examinasen con mayor detalle la cuestión del contagio. Si un banco sufría un *shock* , ¿cómo se propagaría a través del sistema financiero? May y sus colegas estaban en una buena posición para enfrentarse a ese problema. En las décadas anteriores, habían estudiado toda una serie de infecciones —desde el sarampión hasta el VIH— y habían desarrollado nuevos métodos para orientar los programas de control de enfermedades. Sus ideas acabarían revolucionando los enfoques de los bancos centrales con respecto al contagio financiero. No obstante, para comprender cómo funcionan estos métodos, necesitamos primero echar un vistazo a una cuestión más fundamental: ¿cómo establecemos si una infección —o una crisis— se va a propagar o no?

Después de que William Kermack y Anderson McKendrick diesen a conocer su trabajo en teoría epidémica en la década de 1920, el campo de la epidemiología experimentó un brusco giro matemático. Aunque se seguía trabajando en el análisis de los brotes, el trabajo se hizo más abstracto y más técnico. Investigadores como Alfred Lotka publicaron largos y complicados artículos, alejando la investigación de las epidemias del mundo real. Encontraron formas de estudiar brotes hipotéticos que implicaban sucesos aleatorios, intrincados procesos de transmisión y múltiples poblaciones. La emergencia de los ordenadores ayudó a impulsar estos desarrollos técnicos; modelos que anteriormente habían sido difíciles de analizar a mano podían ahora ser objeto de simulaciones. [106]

Y entonces el progreso se detuvo. El obstáculo fue un libro de texto de 1957 escrito por el matemático Norman Bailey. Siguiendo el enfoque de los años precedentes, era casi totalmente teórico, sin apenas datos de la vida

real. El libro era una revisión impresionante de la teoría de las epidemias que ayudaría a atraer a esa línea de investigación a varios jóvenes investigadores. Pero había un problema: Bailey se había dejado fuera una idea crucial, que resultaría ser uno de los conceptos clave en el análisis de los brotes. [107]

La idea en cuestión se originó en el trabajo de George MacDonald, un investigador de la malaria del Instituto Ross de la Escuela de Higiene y Medicina Tropical de Londres. A comienzos de la década de 1950, MacDonald había refinado el modelo del mosquito de Ronald Ross, permitiendo la incorporación de datos reales sobre cuestiones como la duración de la vida del mosquito y sus tasas de alimentación. Al adaptar el modelo a escenarios reales, MacDonald era capaz de localizar aquellas partes del proceso de transmisión más vulnerables a las medidas de control. Mientras que Ross se había centrado en las larvas de mosquito que vivían en el agua, MacDonald se dio cuenta de que, para combatir la malaria, las agencias sanitarias debían más bien centrarse en los mosquitos adultos. Eran el eslabón más débil en la cadena de transmisión. [108]

En 1955, la OMS anunció sus planes para, por vez primera, erradicar una enfermedad. Inspirados por el análisis de MacDonald, escogieron la malaria. La erradicación suponía eliminar toda infección a escala global, algo que, al final, demostró ser más difícil de lograr de lo que parecía en un principio. Algunos mosquitos eran resistentes a los pesticidas, y las medidas de control dirigidas a los mosquitos eran menos efectivas en algunas áreas que en otras. Por ello, la OMS decidió centrarse más bien en la viruela, erradicando la enfermedad en 1980. [109]

La idea de MacDonald de centrarse en los mosquitos adultos había sido un descubrimiento crucial, pero era el descubrimiento que Bailey había omitido en su libro de texto. Esta idea realmente innovadora había quedado relegada al apéndice del artículo de MacDonald. [110] Casi como una ocurrencia sin importancia, había propuesto una nueva forma de pensar en las infecciones. En lugar de centrarnos en la densidad crítica de mosquitos, sugirió que pensásemos en qué ocurriría si una sola persona contagiada aparecía de repente en una población. ¿Cuántos contagios se producirían a continuación?

Veinte años más tarde, el matemático Klaus Dietz finalmente retomaría la idea del apéndice del artículo de MacDonald. Al hacerlo, ayudaría a sacar la teoría de las epidemias de su nicho matemático y devolverla al mundo de la

salud pública. Dietz ideó una cantidad que sería conocida como el «número de reproducción» o R. Esa R representaba el número medio de nuevas infecciones que se esperaría que generase una típica persona contagiada.

Comparado con las tasas y los umbrales empleados por Kermack y McKendrick, R es una forma más intuitiva —y general— de pensar sobre el contagio. Simplemente se pregunta: ¿a cuánta gente esperamos que contagie un caso? Como veremos en capítulos posteriores, es una idea que podemos aplicar a muchos tipos de brotes, desde la violencia con armas de fuego hasta los memes *online* .

R es particularmente útil porque nos dice si tenemos que esperar o no un gran brote. Si R es menor que 1, cada persona contagiada generará de media menos de una infección adicional. No obstante, si R es mayor que 1, la media del nivel de infección crecerá, creando el potencial para una gran epidemia.

Algunas enfermedades tienen un R relativamente pequeño. En el caso de la pandemia de la gripe, el R está normalmente entre 1 y 2, aproximadamente igual que el ébola durante los estadios iniciales de la epidemia de 2013-2016 en África Occidental. De media, cada caso de ébola contagia el virus a otras dos personas. Otras infecciones se pueden propagar más fácilmente. El virus del SARS, que causó brotes en Asia a comienzos de 2003, tuvo inicialmente un R de 2-3. Su prima, la COVID-19, que se propagó ampliamente a comienzos de 2020, también tenía un R de 2-3 cuando no se aplicaba ninguna medida de control. [111] La viruela, que sigue siendo la única infección humana que ha sido erradicada, tenía un R de 4-6 en una población completamente susceptible. El R de la varicela es ligeramente mayor, de 6-8 si toda la población es susceptible. No obstante, estas cifras son pequeñas comparadas con las del sarampión. En una comunidad completamente susceptible, un solo caso de sarampión puede generar una media de más de veinte nuevas infecciones. [112] En gran medida, esto se debe al increíble poder de permanencia del virus del sarampión: si una persona infectada estornuda en una habitación, el virus seguirá en el aire de esa habitación hasta dos horas después. [113]

Además de medir la transmisión de una única persona contagiosa, R puede dar claves sobre la rapidez de crecimiento de la epidemia. Recuérdese cómo el número de personas en un plan piramidal se incrementa en cada paso. Usando R, podemos aplicar la misma lógica a los brotes de enfermedades. Si R es 2, una persona infectada generará dos casos de media. Estos nuevos

dos casos generarán de media otros dos casos cada uno, y así sucesivamente. Sigamos multiplicando por dos, y para la quinta generación del brote esperaremos treinta y dos nuevos casos; para la décima, una media de mil veinticuatro.

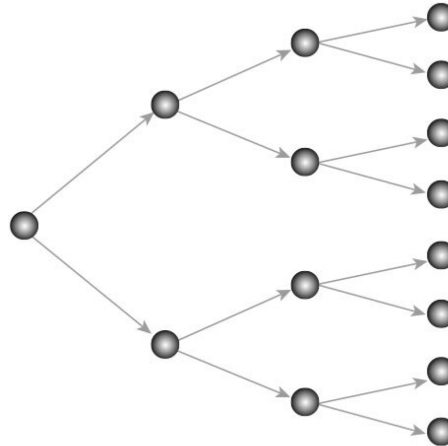


Figura 13. Ejemplo de un brote en el que cada caso contagia a otras dos personas. Los círculos son casos; las flechas muestran la ruta de transmisión.

Debido a que los brotes a menudo crecen exponencialmente al principio, un pequeño cambio en R tendrá un gran efecto en el número esperado de casos después de unas pocas generaciones. Acabamos de ver que, con un R de 2, esperaríamos treinta y dos nuevos casos en la quinta generación del brote. Si R fuese 3, esperaríamos 243 casos en ese mismo estadio.

Una de las razones por las que R se ha hecho tan popular es que puede estimarse a partir de datos reales. Desde el VIH al virus del Ébola, R hace posible cuantificar y comparar el contagio para diferentes enfermedades. Gran parte de su popularidad se debe a Robert May y su colaborador Roy Anderson. A finales de la década de 1970, ayudaron a que la investigación epidémica llegase a una nueva audiencia. Ambos tenían formación en ecología, lo que les confería un enfoque más práctico que los matemáticos que les habían precedido. Estaban interesados en los datos y en cómo se podían aplicar los modelos a situaciones de la vida real. En 1980, May leyó el borrador de un artículo de Paul Fine y Jacqueline Clarkson, del Instituto Ross, que habían empleado un enfoque basado en el número de reproducción para analizar las epidemias del sarampión. [114] Al darse

cuenta de su potencial, May y Anderson aplicaron rápidamente la idea a otros problemas, animando a que otros se les unieran.

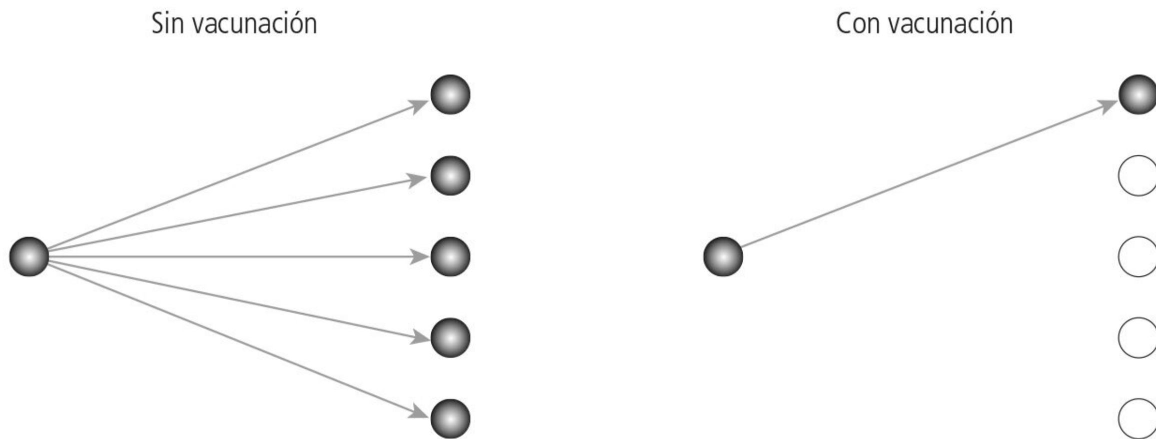


Figura 14. Comparación de los contagios con y sin un 80 por ciento de población vacunada cuando R es 5 en una población completamente susceptible.

Pronto quedó claro que el número de reproducción podía variar mucho entre diferentes poblaciones. Por ejemplo, una enfermedad como el sarampión puede propagarse a mucha gente si golpea a una comunidad con una limitada inmunidad, pero raramente veremos brotes en países con altos niveles de vacunación. El R del sarampión puede ser de 20 en poblaciones en las que todo el mundo está en riesgo, pero en poblaciones con un alto nivel de vacunaciones, cada persona infectada genera de media menos de un caso adicional. En otras palabras, R es menor que 1 en esos sitios.

Podemos, por tanto, usar el número de reproducción para calcular cuánta gente necesitamos vacunar para controlar una infección. Supongamos que una infección tiene un R de 5 en una población completamente susceptible, como era el caso de la viruela, y vacunamos a cuatro de cada cinco personas. Antes de la vacunación, esperaríamos que una típica persona infectada contagiase a otras cinco personas. Si la vacuna es 100 por cien efectiva, cuatro de ellas serán ahora, de media, inmunes. De manera que podemos esperar que cada persona contagiosa genere solo un caso adicional.

Si vacunamos a más de las cuatro quintas partes de la población, el número medio de casos secundarios caerá por debajo de uno. Esperaríamos por tanto que el número de infecciones descienda con el tiempo, con lo que la enfermedad estaría bajo control. Podemos usar la misma lógica para

establecer objetivos de vacunación para otras infecciones. Si el R es de 10 en una población completamente susceptible, necesitaríamos vacunar al menos a nueve de cada diez personas. Si el R es de 20, como en el caso del sarampión, necesitamos vacunar a diecinueve de cada veinte, o alrededor del 95 por ciento de la población, para evitar brotes. Este porcentaje se conoce comúnmente como el «umbral de inmunidad de rebaño». La idea se deriva del trabajo de Kermack y McKendrick: una vez que se alcanza este umbral muchas personas son inmunes, y la infección no se puede propagar.

Reducir la susceptibilidad de la población es quizás la forma más obvia de reducir el número de reproducción, pero no es la única. Hay aparentemente cuatro factores que influyen en el valor de R. Descubrirlos es la clave para entender cómo funciona el contagio.

El 19 de abril de 1987, la princesa Diana abrió una nueva unidad de tratamiento en el hospital Middlesex en Londres. Mientras estaba ahí, hizo algo que sorprendió a los medios de comunicación que la acompañaban e incluso al personal del hospital: le dio la mano a un paciente. La unidad era la primera del país específicamente construida para tratar a enfermos de sida. El apretón de manos fue significativo porque a pesar de la evidencia científica de que la enfermedad no podía propagarse por el tacto, la creencia popular era que sí podía. [115]

La aparición del VIH-sida en la década de 1980 creó la necesidad urgente de descubrir cómo se estaba propagando la epidemia. ¿Qué características de la enfermedad explicaban su transmisión? El mes anterior a la visita de Diana al hospital Middlesex, Robert May y Roy Anderson habían publicado un artículo que descomponía el número de reproducción para el VIH. [116] Señalaban que el R se ve influido por varios factores. En primer lugar, depende del tiempo durante el cual una persona es contagiosa: cuanto menos dura una infección, menos tiempo para que se transmita a otra persona. Junto con la duración de la infección, R depende de con cuánta gente se interactúa cuando se está enfermo. Si se tienen muchos contactos con otros, hay muchas oportunidades para que la infección se extienda. Finalmente, depende de la probabilidad de que la infección se transmita durante cada uno de estos encuentros, asumiendo que la otra persona sea susceptible.

R, por tanto, depende de cuatro factores: el *tiempo durante* el cual una persona es contagiosa, el número medio de *oportunidades* de propagar la enfermedad cada día mientras son contagiosas, la probabilidad de que una

oportunidad resulte en *transmisión* , y la *susceptibilidad* media de la población. Me gusta llamar DOTS a estos factores, para abreviar. [117] Uniendo esos puntos, obtenemos el valor del número de reproducción:

R= Duración x Oportunidades x Transmisión x Susceptibilidad

Al descomponer el número de reproducción en sus componentes, podemos ver cómo distintos aspectos del contagio se compensan unos a otros. Esto nos puede ayudar a determinar cuál es la mejor forma de controlar una epidemia, porque algunos aspectos del número de reproducción serán más fáciles de cambiar que otros. Por ejemplo, una abstinencia sexual generalizada reduciría el número de *oportunidades* para la transmisión del VIH, pero no es una opción práctica o atractiva para la mayoría. Las agencias sanitarias se han centrado en conseguir que la gente use preservativos, lo que reduce la probabilidad de *transmisión* durante el sexo. En los últimos años, también ha tenido mucho éxito la llamada profilaxis pre-exposición (PPrE), por la cual las personas no infectadas con VIH toman medicamentos contra el VIH para reducir su susceptibilidad a la infección. [118]

El tipo de oportunidades de contagio en el que estamos interesados depende de la infección. Para la gripe o la viruela, la transmisión puede ocurrir durante conversaciones cara a cara, mientras que infecciones como el VIH y la gonorrea se propagan fundamentalmente por medio de encuentros sexuales. La compensación entre los componentes de DOTS significa que si alguien es contagioso el doble de tiempo, en términos de transmisión es equivalente a que hayan tenido el doble de contactos. En el pasado, la viruela y el VIH han tenido un R de alrededor de 5. [119] No obstante, aquellos que están infectados contagian la viruela por un periodo generalmente más corto, lo que significa que deben tener más oportunidades cada día para propagar la infección, o una mayor probabilidad de contagiar durante cada una de esas oportunidades, para compensar.

El número de reproducción se ha convertido en una parte crucial de la moderna investigación de los brotes, pero hay otra característica del contagio que tenemos que tener en cuenta. Debido a que R se ocupa del nivel medio de transmisión, no capta algunos de los eventos más inusuales que pueden ocurrir durante los brotes. Uno de esos eventos se produjo en marzo de 1972, cuando un maestro serbio llegó al principal hospital de

Belgrado con una mezcla inusual de síntomas. Se le había dado penicilina en su centro médico local para tratar una erupción, pero eso había provocado una severa hemorragia. Se reunieron docenas de estudiantes y miembros del personal del hospital para observar lo que pensaban que era una extraña reacción a la penicilina. Pero no era alergia. Después de que enfermase el hermano del paciente, los médicos se dieron cuenta de que el problema real era a lo que habían estado expuestos. El hombre se había contagiado de viruela, y se declararían otros treinta y ocho casos —todos rastreables hasta él— antes de que se lograsen controlar los contagios en Belgrado. [120]

Aunque la viruela no sería erradicada globalmente hasta 1980, ya había desaparecido de Europa, sin casos registrados en Serbia desde 1930. El maestro probablemente había sido contagiado por un clérigo local que había regresado recientemente de Irak. Varios brotes parecidos habían aparecido en Europa durante las décadas de 1960 y 1970, la mayoría relacionados con viajes. En 1961, una niña regresó desde Karachi (Pakistán) a Bradford (Inglaterra) trayendo con ella el virus de la viruela e infectando inconscientemente a otras diez personas. Un brote en Meschede (Alemania) en 1969 también comenzó con un visitante proveniente de Karachi. En esta ocasión se trataba de un electricista alemán que había viajado hasta ahí; después contagiaría a otras diecisiete personas. [121] No obstante, estos eventos no eran típicos: la mayoría de los casos que regresaron a Europa no contagiaron a nadie.

En una población susceptible, la viruela tiene un número de reproducción de alrededor de 4-6. Esto representa el número de casos secundarios que se espera que aparezcan, pero aun así es un valor medio; en realidad puede haber mucha variación entre individuos y brotes. Aunque el número de reproducción proporciona un resumen útil de la transmisión global, no nos dice qué proporción de la transmisión viene de un puñado de lo que los epidemiólogos llaman eventos de «superpropagación».

Un error común sobre los brotes de enfermedades es que crecen paulatinamente de generación en generación, y cada uno de los casos contagia a un número similar de personas. Si una infección se propaga de persona a persona, creando una nueva cadena de casos, nos referimos a ello como «transmisión propagada». No obstante, los brotes propagados no siguen necesariamente la pauta del número de reproducción al pie de la letra, creciendo lo mismo en cada generación. En 1997, un grupo de

epidemiólogos propuso la «regla del 20-80» para describir la transmisión de las enfermedades. Para enfermedades como el VIH y la malaria, descubrieron que el 20 por ciento de los casos eran responsables de alrededor del 80 por ciento de los contagios. [122] Pero, como con la mayor parte de las reglas de la biología, hay excepciones también a esta. Los investigadores se han centrado en las enfermedades de transmisión sexual (ETS) y en infecciones transmitidas por mosquitos. Otro tipo de brotes no siempre siguen este patrón. Después de la epidemia del SARS de 2003 —en la que hubo varios ejemplos de infecciones masivas— se renovó el interés por la idea de la superpropagación. Para el caso del SARS, parecía un concepto especialmente importante: el 20 por ciento de los casos causaban casi el 90 por ciento de los contagios. En comparación, enfermedades como la peste bubónica tenían menos eventos de superpropagación, siendo el 20 por ciento de los casos únicamente responsables del 50 por ciento de los contagios. [123]

En otras situaciones, un brote podría no propagarse. Podría ser el resultado de un «contagio con una fuente común», en el que todos los casos provienen de la misma fuente. Un ejemplo de ello podría ser una intoxicación alimentaria: en este caso, los brotes pueden ser rastreados hasta una comida o una persona concreta. El caso más tristemente célebre en este sentido es el de Mary Mallon —a menudo denominado el caso de «Mary la Tifoidea»— que era portadora de una infección tifoidea asintomática. A comienzos del siglo XX , Mallon fue empleada como cocinera por varias familias de Nueva York, lo que llevó a múltiples brotes de la enfermedad y a varias muertes. [124]

Durante un brote de fuente común, los casos a menudo aparecen en un corto periodo de tiempo. En mayo de 1916, se produjo un brote tifoideo en California unos pocos días después de un pícnic escolar. Al igual que Mallon, el cocinero que había hecho el helado para el pícnic era portador de la enfermedad sin saberlo.

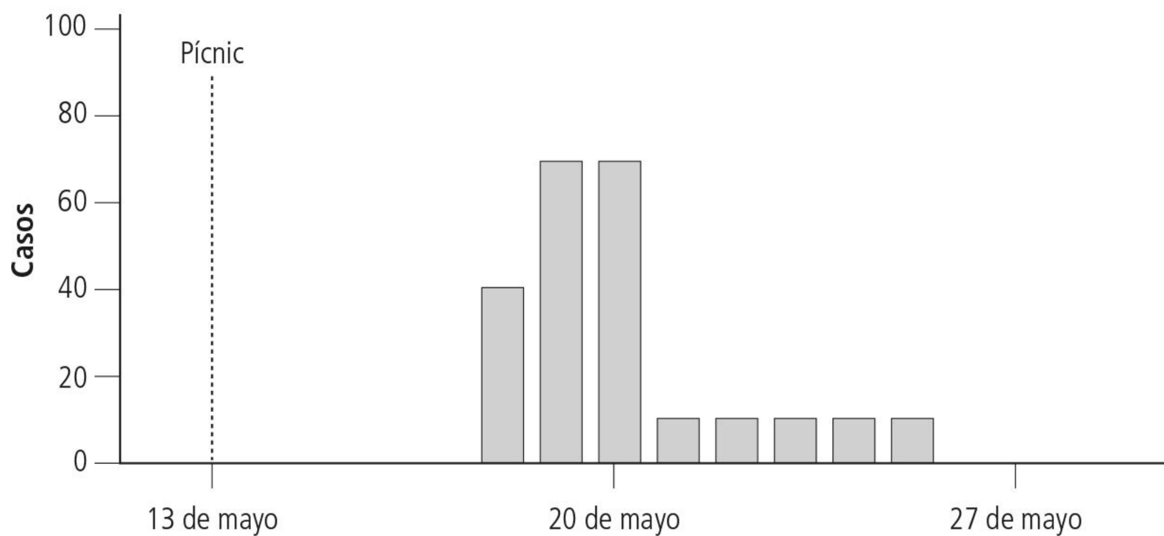


Figura 15. Brote tifoideo después de un pícnic en California, 1916. Fuente: Cumming, J. G., «An epidemic resulting from the contamination of ice cream by a typhoid carrier», *Journal of the American Medical Association* , 1917.

Podemos, por tanto, pensar en la transmisión de la enfermedad como un continuo. En un extremo, nos encontramos con situaciones en las que una sola persona —como Mary Mallon— genera todos los casos. Este es el ejemplo más extremo de superpropagación, en el que una fuente es responsable del 100 por cien de los contagios. En el otro extremo, tenemos una epidemia de libro en el que cada caso genera exactamente el mismo número de casos secundarios. En la mayoría de las ocasiones, un brote se encuentra en algún punto intermedio entre esos dos extremos.

Si existe el potencial para eventos de superpropagación durante un brote, esto implica que algunos grupos de personas podrían ser especialmente importantes. Cuando los investigadores se dieron cuenta de que el 80 por ciento de los contagios del VIH provenían de un 20 por ciento de los casos, sugirieron medidas de control para estos «grupos centrales». Para que ese enfoque sea efectivo, no obstante, necesitamos ver cómo los individuos están conectados en una red; y por qué algunas personas podrían estar expuestas a un mayor riesgo que otras.

El matemático más prolífico de la historia fue un nómada académico. Paul Erdős pasó toda su carrera viajando por el mundo, viviendo con dos maletas medio llenas, y sin tarjeta de crédito o chequera. Tal como dijo él mismo, «la propiedad es una molestia». No obstante, lejos de ser un recluso, acumuló durante sus viajes una vasta red de colaboradores en sus

investigaciones. Impulsado por una combinación de café y anfetaminas, se presentaba en casa de un colega anunciando que «mi cerebro está abierto». Para cuando murió, en 1996, había publicado unos mil quinientos artículos con ochocientos coautores. [125]

Además de construir redes, Erdős estaba interesado en analizarlas. Junto con Alfréd Rényi, fue pionero en el desarrollo de una forma de analizar las redes en la que los «nodos» individuales estaban unidos unos a otros de manera aleatoria. Ambos estaban especialmente interesados en la probabilidad de que esas redes terminasen completamente conectadas —con una ruta posible entre dos nodos cualesquiera— en lugar de divididas en partes distintas. Esa conectividad importa para los brotes. Supongamos que una red representa las parejas sexuales. Si está completamente conectada, una única persona infectada podría en teoría propagar una ETS a cualquier otra persona. Pero si la red está dividida en varias partes, no hay forma de que una persona situada en una de ellas contagie a otra persona que esté en otra parte de la red.

También es relevante si hay una única ruta a lo largo de toda la red o varias. Si las redes contienen circuitos cerrados de contactos, la transmisión de una ETS se puede acelerar. [126] Cuando existe ese circuito, la infección puede propagarse por toda la red de dos formas distintas; incluso aunque uno de los vínculos sociales se rompa, sigue habiendo otra ruta. Para el caso de las ETS, es más fácil, por tanto, que los brotes se propaguen si hay varios circuitos en la red.

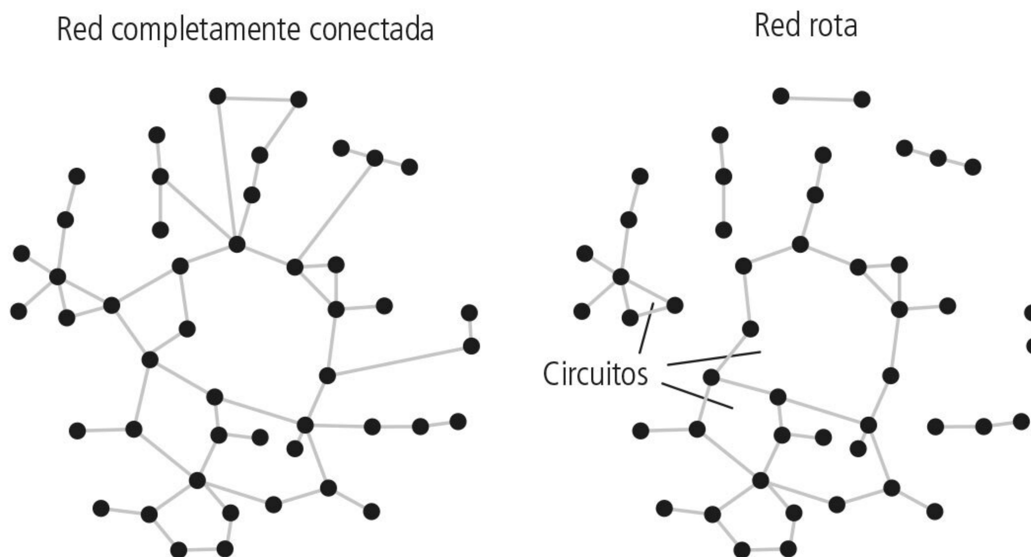


Figura 16. Ejemplo de una red de Erdős-Rényi completamente conectada y otra rota.

Aunque la aleatoriedad de las redes de Erdős-Rényi es algo muy oportuno desde un punto de vista matemático, la vida real puede ser muy diferente. Los amigos tienden a agruparse. Los investigadores colaboran con el mismo grupo de coautores. La gente muchas veces solo tiene una pareja sexual al mismo tiempo. Pero algunos vínculos van más allá de esas agrupaciones. En 1994, los epidemiólogos Mirjam Kretzschmar y Martina Morris modelizaron cómo las ETS podrían propagarse si algunas personas tenían múltiples parejas sexuales al mismo tiempo. Quizá previsiblemente, descubrieron que estas parejas podrían llevar a brotes que se propagarían más rápidamente, porque crearían vínculos entre partes muy diferentes de la red.

El modelo Erdős-Rényi capta las ocasionales conexiones de larga distancia que se producen en las redes reales, pero no puede reproducir el agrupamiento de las interacciones. Esta discrepancia fue resuelta en 1998, cuando los matemáticos Duncan Watts y Steven Strogatz desarrollaron el concepto de red de «mundo pequeño», en el que la mayor parte de los vínculos son locales pero unos pocos son de larga distancia. Descubrieron que esas redes surgían por doquier: la red eléctrica, las neuronas en los cerebros de las lombrices, los coprotagonistas en el reparto de una película, incluso las colaboraciones académicas de Erdős. [127] Era un descubrimiento sensacional, y le sucederían unos cuantos más.

La idea de los mundos pequeños había resuelto la cuestión de los agrupamientos y los vínculos de larga distancia, pero los físicos Albert-László Barabási y Réka Albert descubrieron otra característica inusual de las redes en la vida real. Desde la participación en películas hasta la World Wide Web, se dieron cuenta de que algunos nodos de la red tenían un número enorme de conexiones, muchas más de las que aparecían normalmente en las redes de Erdős-Rényi o en las de mundos pequeños. En 1999, propusieron un mecanismo simple para explicar esta extrema variabilidad de las conexiones: los nuevos nodos que se unían a la red preferirían vincularse a los que ya eran populares. [128] Era un caso de «el rico se enriquece más aún».

Al año siguiente, un equipo de la Universidad de Estocolmo demostró que el número de parejas sexuales en Suecia también parecía seguir esta norma: la gran mayoría se habían acostado con, como mucho, una persona el año anterior, mientras que algunos habían tenido docenas de parejas. Desde entonces los investigadores han encontrado pautas similares de comportamiento sexual en países que van desde Burkina Faso al Reino Unido. [129]

¿Qué efecto tiene sobre los brotes esta extrema variabilidad en el número de parejas? En la década de 1970, el matemático James Yorke y sus colegas descubrieron un problema con la epidemia de gonorrea entonces en curso en los Estados Unidos. A saber, que no era posible. Para que la enfermedad se siguiera propagando, el número de reproducción necesitaba ser mayor que 1. Esto significaba que las personas infectadas tendrían que tener, de media, al menos dos parejas sexuales recientes: la que les contagió y una segunda a la que contagiaron. Pero un estudio de pacientes con gonorrea descubrió que, de media, solo habían tenido 1,5 parejas recientes. [130] Incluso aunque la probabilidad de transmisión durante el sexo era muy alta, lo que estos datos sugerían era que simplemente no había habido suficientes encuentros sexuales para que la enfermedad persistiese. ¿Qué estaba ocurriendo?

Si solo tenemos en cuenta el número de parejas, estamos ignorando el hecho de que las personas tienen vidas sexuales distintas. Esta variabilidad es importante: si alguien tiene muchas parejas, esperaríamos que sea más probable que se contagien y que transmitan la enfermedad a otra persona. Por tanto, hay que tener en cuenta el hecho de que pueden contribuir a la transmisión de dos formas distintas. Yorke y sus colegas argumentaron que

esto podría explicar por qué aparecía una epidemia de gonorrea, a pesar de que la gente tuviese de media pocas parejas sexuales: las personas con muchos contactos podrían contribuir desproporcionadamente a la propagación, empujando al número de reproducción por encima del 1. Anderson y May mostrarían más adelante que cuanta más variación existiese en el número de parejas que tiene cada individuo, mayor sería el número de reproducción esperado.

Identificar a aquellos que tienen un mayor riesgo —y encontrar formas de reducir este riesgo— puede ayudar a detener un brote en sus estadios iniciales. A finales de la década de 1980, Anderson y May sugirieron que las ETS se propagarían inicialmente con mucha rapidez a través de grupos de alto riesgo, incluso aunque el brote en su conjunto sería menor de lo que esperaríamos si todo el mundo se mezclase de manera aleatoria. [131]

Al descomponer el contagio en sus componentes básicos (los DOTS —duración, oportunidades, probabilidad de transmisión, susceptibilidad—) y pensar en cómo la estructura de las redes afecta al contagio, podemos también estimar el riesgo que supone una nueva ETS. En 2008, un científico estadounidense regresaba a su casa en Colorado después de un mes trabajando en Senegal. Una semana después, había caído enfermo con dolor de cabeza, agotamiento extremo y una erupción en su torso. Poco después, su mujer —que no había viajado— desarrolló los mismos síntomas. Subsiguientes pruebas de laboratorio indicaron que ambos habían estado expuestos al virus del Zika. Las investigaciones previas sobre el zika se habían centrado en la transmisión por mosquitos, pero el incidente de Colorado sugería que el virus podía acceder a través de otra ruta: podía infectar a las personas durante encuentros sexuales. [132] A medida que el zika se extendía por el planeta en 2015-2016, aparecerían nuevos casos de transmisión sexual, alimentando la especulación sobre un nuevo tipo de brote. «Zika: ¿la ETS de los *millennials* ?», se preguntaba un artículo de opinión en el *New York Times*. [133]

Basándonos en los DOTS del zika, nuestro grupo de investigación estimó que el número de reproducción para el caso de la transmisión sexual era menor que 1; por tanto, el virus probablemente no causaría una epidemia de ETS. El zika podría causar pequeños brotes en grupos con muchos contactos sexuales, pero era poco probable que supusiese un gran riesgo en áreas sin mosquitos. [134] Desgraciadamente, no se podía decir lo mismo de otras ETS.

Gaëtan Dugas era rubio, encantador y tenía muchas relaciones sexuales. Trabajaba como auxiliar de vuelo para una aerolínea canadiense, y se había acostado con alrededor de doscientos hombres antes de marzo de 1984, cuando murió de sida, unas pocas semanas después de cumplir treinta y un años. Tres años más tarde, el periodista Randy Shilts incluyó a Dugas en su éxito de ventas *And the Band Played On* . Shilts sugería que Dugas había jugado un papel central en la propagación inicial de la enfermedad. Calificó a Dugas como el «paciente cero», un término que aún se usa hoy para referirse al primer caso de un brote. El libro de Shilts fomentó la idea de que Dugas había introducido la epidemia en Norteamérica. *The New York Post* lo bautizó como «El hombre que nos trajo el sida»; la *National Review* dijo que era «el Colón del sida».

La idea de que Dugas era el paciente cero ciertamente captó la atención de muchos, y ha sido a menudo repetida desde entonces. Pero resultó que no era cierta. En 2016, un equipo de investigadores publicó un análisis de cepas del VIH provenientes de varios pacientes, incluyendo hombres diagnosticados con sida en la década de 1970 y al propio Dugas. Basándose en la diversidad genética de los virus y la tasa de evolución del VIH, el equipo estimó que el VIH había llegado a Norteamérica en 1970 o 1971. No obstante, no encontraron ninguna evidencia de que Dugas lo hubiese introducido en los Estados Unidos. Era solo un caso más de una epidemia mucho más amplia. [135]

Entonces, ¿de dónde venía la idea del paciente cero? En la investigación original del brote, Dugas no había sido designado como «Paciente 0», sino más bien «Paciente O». La «O» se refería a que era un paciente de «fuera de California». [136] En 1984, William Darrow, un investigador de los que entonces se llamaban Centros para el Control de Enfermedades (CDC, por sus siglas en inglés), había sido encargado de investigar las muertes de un grupo de hombres homosexuales en Los Ángeles. [137] Los CDC generalmente daban a cada caso un número basado en el orden en el que había sido registrado en relación con los otros casos, pero en esta ocasión habían sido clasificados de nuevo para el análisis de estos casos en Los Ángeles. Antes de que Dugas fuese vinculado al grupo de pacientes de Los Ángeles, era simplemente el «Paciente 057».

Cuando los investigadores se pusieron a analizar cuál era la vinculación entre los casos, observaron que las muertes podrían ser el resultado de una ETS aún desconocida. Dugas tenía una posición prominente en la red,

vinculado con múltiples casos en Nueva York y Los Ángeles. Esto era en parte porque había intentado ayudar a los investigadores, identificando a setenta y dos de sus parejas sexuales en los tres años anteriores. Darrow señaló que el objetivo de una investigación siempre es comprender cómo se relacionan los casos entre sí, más que descubrir quién había comenzado el brote. «Nunca dije que fuese el primer caso en los Estados Unidos», comentó posteriormente.

Cuando se investigan los brotes, nos enfrentamos a un desequilibrio entre lo que queremos conocer y lo que podemos medir. Idealmente, deberíamos tener datos sobre cómo están conectadas las personas, y cómo las infecciones se propagan a través de esas conexiones. Lo que realmente podemos medir es muy diferente. Una típica investigación de un brote reconstruirá algunos de los vínculos entre personas infectadas. Dependiendo de qué casos y qué vínculos estén registrados, la red resultante no tendrá necesariamente la misma forma que la ruta de transmisión real. Algunas personas puede que aparezcan en una posición más prominente que la que realmente les correspondería, y algunos contagios no se registrarán.

Cuando Randy Shilts se encontró con el diagrama de los CDC mientras acumulaba información para su libro, su atención se vio dirigida a Dugas. «En medio de ese estudio había un círculo con una O al lado, y siempre pensé que se refería al Paciente 0 —recordó más adelante—. Cuando fui al CDC, empezaron a hablar del Paciente Cero. Y entonces pensé: "Oooh, eso es pegadizo"». [138]

Es más fácil contar una historia cuando hay un antagonista claro. Según el historiador Phil Tiemeyer, fue el editor de Shilt, Michael Denneny, el que sugirió que convirtiesen a Dugas en el villano del libro, y que apareciese como tal en la publicidad del mismo. «A Randy no le gustaba nada esa idea —le dijo Denneny a Tiemeyer—. Me llevó una semana convencerle». La decisión —de la que más tarde Denneny dijo que se arrepentía— se tomó porque de lo contrario los medios de comunicación no habrían mostrado mucho interés por el sida. «No iban a referirse a un libro que acusaba a la administración Reagan y al sistema médico». [139]

Cuando se discuten brotes que incluyen eventos de superpropagación, existe la tendencia a centrar toda la atención en aquellas personas que están aparentemente en el centro de los mismos. ¿Quiénes son estos «superpropagadores»? ¿Qué les diferencia de los demás? No obstante, esa atención puede estar fuera de lugar. Tomemos por ejemplo la historia del

maestro de Belgrado que llegó al hospital con viruela. No había nada intrínsecamente inusual acerca de él o de su comportamiento. Había contraído la enfermedad en un encuentro casual, había buscado atención médica en el sitio apropiado —un hospital— y el brote se propagó porque nadie sospechaba inicialmente que fuese viruela. Esto es así en muchos brotes: a menudo es difícil predecir con antelación qué papel jugará un individuo específico.

Incluso aunque podamos identificar situaciones que creen un riesgo de transmisión de una enfermedad, ello no llevará necesariamente al resultado que esperamos. El 21 de octubre de 2014, en el momento álgido de la epidemia de ébola en África Occidental, una niña de dos años llegó a un hospital de la ciudad de Kayes, en Mali. Después de la muerte de su padre, un trabajador sanitario, la niña había viajado alrededor de mil doscientos kilómetros desde la vecina Guinea con su abuela, su tío y su hermana. En el hospital de Kayes, la niña dio positivo por ébola, y murió al día siguiente. Fue el primer caso de ébola en Mali, y las autoridades sanitarias comenzaron a buscar a todos aquellos que pudieron haber estado en contacto con ella. Durante su viaje, había cogido al menos un autobús y tres taxis, potencialmente interactuando con docenas, si no cientos, de personas. Ya mostraba síntomas cuando llegó al hospital, y basándonos en la naturaleza de la transmisión del ébola, es muy probable que ya hubiese contagiado el virus. Los investigadores pudieron finalmente identificar alrededor de un centenar de contactos de la niña y los pusieron en cuarentena como precaución. No obstante, ninguno de ellos desarrolló el ébola. A pesar de su largo viaje, la niña no había contagiado a nadie. [140]

Cuando sí se produjeron eventos de superpropagación del ébola en 2014-2015, nuestro equipo descubrió una característica común. Desgraciadamente, no era algo especialmente útil: los casos más probablemente relacionados con la superpropagación no podían estar vinculados a las cadenas de transmisión existentes. En otras palabras, las personas que estaban contagiando la epidemia eran generalmente aquellas de las que las autoridades sanitarias no sabían nada. Estos individuos seguían sin ser detectados hasta que generaban una nueva tanda de infecciones, haciendo claramente imposible la predicción de los eventos de superpropagación. [141]

Haciendo un esfuerzo, podemos en ocasiones rastrear parte de las rutas del contagio durante un brote, reconstruyendo quién puede haber

contagiado a quién. Puede ser tentador, además, construir una narrativa, especulando por qué ciertas personas contagian más que otras. No obstante, solo porque una infección sea capaz de superpropagación no significa necesariamente que los superpropagadores siempre sean los mismos. Dos personas podrían comportarse de forma casi idéntica, y aun así, de manera aleatoria, uno podría propagar la infección y el otro no. Cuando se escribe la historia, uno es culpado y el otro ignorado. Los filósofos lo denominan «suerte moral»: la idea de que tendemos a ver aquellas acciones con consecuencias desafortunadas como peores que acciones iguales pero que no han tenido repercusiones. [142]

A menudo las personas involucradas en un brote se comportan de forma diferente, pero no necesariamente de la manera que podríamos pensar. En su libro *El punto clave* , Malcolm Gladwell describe un brote de gonorrea en Colorado Springs (Colorado) en 1981. Como parte de la investigación del brote, el epidemiólogo John Potterat y sus colegas entrevistaron a 769 casos, preguntándoles con quién habían tenido contacto sexual recientemente. De estos casos, 168 personas tuvieron al menos dos contactos que también estaban infectados. Esto sugería que eran desproporcionadamente importantes para explicar el brote. «¿Quiénes eran estas 168 personas? —se preguntó Gladwell—. No son como tú o como yo. Son personas que salen cada noche, que tienen un número de parejas sexuales mucho mayor que la media, personas cuyas vidas y comportamientos están fuera de lo normal». [143]

¿Eran realmente estas personas tan promiscuas y tan inusuales? En mi opinión, no especialmente: los investigadores encontraron que, de media, estos casos declararon haber tenido encuentros sexuales con otras 2,3 personas infectadas. Esto significa que fueron contagiados por una persona y normalmente contagiaron a su vez a una o dos más. Los casos solían ser negros o hispanos, jóvenes y relacionados con el Ejército; casi la mitad de ellos habían conocido a sus parejas sexuales durante más de dos meses. [144] Durante la década de 1970, Potterat había empezado a darse cuenta de que la promiscuidad no era una buena explicación para los brotes de gonorrea en Colorado Springs. En su opinión, «era especialmente sorprendente la diferencia en el resultado de los test de gonorrea entre mujeres blancas de clase media alta sexualmente intrépidas de una universidad local y mujeres negras de edad similar con historias sexuales y nivel educativo modestos». [145] «Las primeras raramente eran diagnosticadas con gonorrea, a

diferencia de las segundas». Un análisis más minucioso de los datos de Colorado Springs sugería que la transmisión era probablemente el resultado de la demora en la administración del tratamiento a ciertos grupos sociales, más que a un nivel inusualmente alto de actividad sexual.

El considerar que las personas en situación de riesgo son especiales o diferentes puede favorecer una actitud de «ellos y nosotros», que puede a su vez llevar a la segregación y al estigma. Esto puede hacer que las epidemias sean más difíciles de controlar. Desde el VIH-sida al virus del Ébola, la culpa —y el temor a la culpa— ha contribuido a ocultar muchos brotes. La sospecha en torno a la enfermedad puede llevar a que muchos pacientes y sus familias sean expulsados de la comunidad local. [146] Esto hace que la gente sea reacia a declarar la enfermedad, lo que a su vez amplifica la transmisión haciendo que los individuos más importantes sean más difíciles de identificar.

Culpar a ciertos grupos por los brotes no es un fenómeno nuevo. En el siglo XVI , los ingleses pensaban que la sífilis venía de Francia, así que se referían a ella como «la viruela francesa». Los franceses pensaban que venía de Nápoles, y la llamaron «la enfermedad napolitana». En Rusia, era la enfermedad polaca, en Polonia era turca y en Turquía era cristiana. [147]

Esa culpabilización puede ser duradera. Todavía nos referimos a la pandemia de gripe de 1918, que mató a decenas de millones de personas globalmente, como la «gripe española». El nombre surgió durante el brote porque la información de los medios de comunicación sugería que España era el país más afectado de Europa. No obstante, estos informes no eran lo que parecían. En esa época, España, al no estar en guerra, no tenía censura de prensa, a diferencia de Alemania, Inglaterra y Francia, que prohibían las noticias relacionadas con la enfermedad por miedo a que dañasen la moral de la población. La censura de prensa en esos países hacía que pareciese que España tenía muchos más casos (por su parte, la prensa española intentó culpar de la enfermedad a los franceses). [148]

Si queremos evitar nombres de enfermedades específicos de un país, siempre es una buena idea sugerir una alternativa. Un sábado por la mañana de marzo de 2003, un grupo de expertos se reunieron en la sede de la OMS en Ginebra para discutir sobre una infección recientemente descubierta en Asia. [149] Ya habían aparecido casos en Hong Kong, China y Vietnam, y esa misma mañana se declaró otro caso en Frankfurt. La OMS estaba a punto de anunciar la nueva amenaza mundial, pero primero necesitaba un

nombre. Querían algo que fuese fácil de recordar pero que no estigmatizase a los países afectados. Finalmente, acordaron llamarlo síndrome respiratorio agudo severo, para abreviar, SARS (por sus siglas en inglés).

La epidemia de SARS generaría alrededor de ocho mil casos y varios centenares de muertes en distintos continentes. A pesar de que para junio de 2003 ya estaba bajo control, la epidemia tendría un coste global de 40.000 millones de dólares, [150] no solo por los costes directos de tratar los casos de la enfermedad, sino también por el impacto económico de los lugares de trabajo cerrados, los hoteles vacíos y el comercio cancelado.

Según Andy Haldane, ahora economista jefe del Banco de Inglaterra, los efectos de la epidemia de SARS fueron equivalentes a los de la crisis financiera de 2008. «Estas similitudes son sorprendentes —dijo en un discurso en 2009—. Nos golea un evento externo. El miedo atenaza al sistema, que, como consecuencia, se paraliza. El daño colateral resultante es amplio y profundo». [151]

Haldane sugirió que la ciudadanía normalmente responde a un brote de dos maneras: huyendo o escondiéndose. En el caso de una enfermedad infecciosa, huir significa intentar dejar un área afectada con la esperanza de evitar contagiarse. Debido a las restricciones a los viajes y otras medidas de control, esta generalmente no era una opción durante la epidemia de SARS. [152] Si las personas infectadas hubiesen viajado —en lugar de ser identificadas y aisladas por las autoridades sanitarias— el virus se habría propagado a más sitios. La huida es una respuesta que también se da en las finanzas. Enfrentados a una crisis, los inversores podrían decidir frenar sus pérdidas y vender sus activos, lo que hace que los precios caigan aún más.

La otra opción es «esconderse» durante un brote, evitando situaciones que potencialmente podrían suponer un contacto con la infección. En el caso de un brote de una enfermedad, podrían optar por lavarse las manos más frecuentemente o reducir sus interacciones sociales. En el mundo de las finanzas, los bancos podrían esconderse acumulando dinero en lugar de arriesgarse a prestar a otras instituciones. No obstante, Haldane señaló que hay una diferencia crucial entre la estrategia de esconderse en el caso de brotes de enfermedades y en el de crisis financieras. Esconderse generalmente ayuda a reducir la transmisión de enfermedades, incluso aunque esto suponga un coste. Sin embargo, cuando los bancos acumulan liquidez, los problemas se pueden amplificar, como en el caso del

«aplastamiento del crédito» que golpeó a las economías en la antesala de la crisis de 2008.

Aunque la noción de un aplastamiento del crédito ocupó los titulares en 2007-2008, los economistas habían acuñado el término en 1966. Ese verano, los bancos de los Estados Unidos dejaron repentinamente de prestar. En los años anteriores, los bancos se habían enfrentado a una alta demanda de préstamos y habían incrementado incesantemente el crédito disponible para cubrir esa demanda. Al final, el dinero que recibían los bancos en forma de ahorros dejó de ser suficiente para continuar prestando, de manera que dejaron de prestar. No era tanto que los bancos pidiesen mayores tipos de interés a los prestatarios; era que no prestaban. Los bancos ya habían reducido la disponibilidad de préstamos en ocasiones anteriores —en la década de 1950 había habido varios ejemplos de «compresión del crédito» en los Estados Unidos—, pero para muchos el término «compresión» era demasiado suave para describir lo que ocurrió en 1966. «Un "aplastamiento" es algo distinto —escribió entonces el economista Sidney Homer—. Es doloroso por definición, y puede incluso romperte los huesos». [153]

La crisis de 2008 no fue la primera vez que Andy Haldane había considerado la idea del contagio en los sistemas financieros. [154] «Recuerdo —me dijo— que allá por el año 2004 o 2005 escribí una nota sobre cómo estábamos entrando en una era de "riesgo supersistémico" como resultado de este tipo de infecciones». La nota sugería que el sistema financiero podría ser robusto en algunas situaciones y extremadamente frágil en otras. Esa idea estaba muy establecida en el campo de la ecología: la estructura de una red podría hacerla resistente a *shocks* menores, pero esa misma estructura podría también dejarla vulnerable al colapso total si se sometía a mucha presión. Pensemos en un equipo de trabajo. Si la mayoría de sus miembros trabajan bien, los miembros más flojos podrían eludir las consecuencias de sus errores precisamente por formar parte de un equipo en el que la mayoría son muy competentes. No obstante, si la mayoría del equipo apenas cumple con su trabajo, esos mismos vínculos hundirán a los miembros más fuertes. «La idea básica era que toda esta integración reduce la probabilidad de minicrisis —dijo Haldane—, pero incrementaba la probabilidad de una maxicrisis».

Pudo ser una idea profética, pero no llegó muy lejos. «Esa nota, desgraciadamente, no llegó a ninguna parte —tal como reconoció Haldane

— hasta que vino la gran crisis». ¿Por qué no cuajó su idea? «Era difícil detectar algún ejemplo de ese riesgo sistemático en ese momento. Todo parecía un mar en calma». Esto cambiaría en el otoño de 2008. Después del colapso de Lehman Brothers, todo el mundo en la industria bancaria empezó a pensar en términos de epidemias. Según Haldane, era la única manera de explicar lo que había pasado. «No podías contar la historia de por qué Lehman había arrastrado en su caída al sistema financiero sin que fuese la historia de un contagio».

Si se hiciese una lista de las características de una red que amplifican el contagio, nos daríamos cuenta de que el sistema bancario anterior a 2008 reunía la mayoría de ellas. Empecemos con la distribución de los vínculos entre bancos. En lugar de unas conexiones repartidas de manera equilibrada, un puñado de empresas dominaban la red, creando un potencial masivo para el supercontagio. En 2006, un grupo de investigadores que trabajaban para la Reserva Federal de Nueva York diseccionaron la estructura de la red Fedwire de pagos en los Estados Unidos. Cuando analizaron los 1,3 billones de dólares en transferencias que se daban entre miles de bancos estadounidenses en un día normal, descubrieron que el 75 por ciento de los pagos implicaban a solo sesenta y seis instituciones. [155]

La variabilidad en los vínculos no era el único problema. También lo era cómo estos grandes bancos encajaban en el resto de la red. En 1989, la epidemióloga Sunetra Gupta dirigió un estudio que mostraba que las dinámicas de las infecciones podrían depender de si una red era lo que los matemáticos denominaban «asociativa» o «disociativa». En una red asociativa, individuos muy conectados se vinculan principalmente con otras personas muy conectadas. El resultado de ello es un brote que se propaga rápidamente a través de las agrupaciones de individuos de alto riesgo, pero al que le cuesta llegar a las otras partes menos conectadas de la red. Por el contrario, en una red disociativa, las personas de alto riesgo están en su mayor parte vinculadas con personas de bajo riesgo. Esto hace que la infección se propague lentamente al principio, pero lleva a una epidemia de alcance mayor. [156]

La red bancaria resultó ser, por supuesto, disociativa. Por ello, un gran banco como Lehman Brothers podía propagar ampliamente el contagio; cuando Lehman se hundió, tenía tratos comerciales con alrededor de un millón de contrapartes. [157] «Estaba inmerso en esa red que le hacía muy

vulnerable —una red de instrumentos derivados y dinero en efectivo— y nadie tenía ni la más remota idea de quién debía qué a quién», dijo Haldane. No ayudaba el hecho de que hubiese numerosos y a menudo escondidos bucles en la red, creando múltiples rutas de transmisión desde Lehman a otras compañías y mercados. Es más, estas rutas podían ser muy cortas. La red financiera internacional en las décadas de 1990 y 2000 se había vuelto una red de «mundo pequeño». Hacia 2008, cada país estaba a solo uno o dos pasos de la crisis de otra nación. [158]

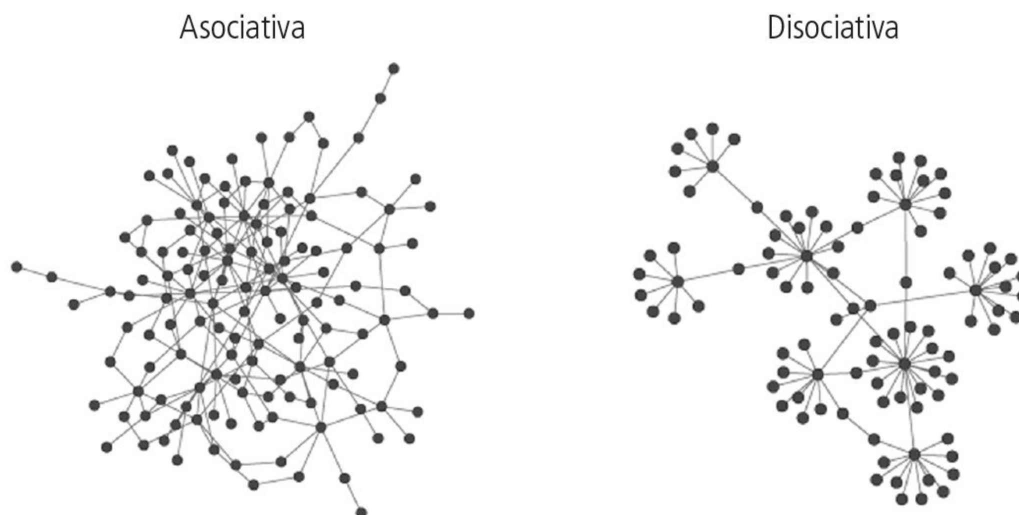


Figura 17. Ejemplo de redes asociativas y disociativas. Adaptado de Hao, D. y L. Chuanxing, «The dichotomy in degree correlation of biological networks», *PLOS ONE* , 2011.

En febrero de 2009, el inversor Warren Buffett en su carta anual a los accionistas les advirtió sobre la «sobrecogedora red de dependencia mutua» entre los grandes bancos. [159] «Los que intentaban esquivar el problema eran como personas intentando evitar una enfermedad venérea —escribió—. No se trata solo de con quién te estás acostando, sino de con quién se están acostando ellos». Además de poner en riesgo a instituciones supuestamente responsables, la estructura de la red puede incentivar el mal comportamiento. Si se necesitase la intervención del Gobierno durante una crisis, las primeras empresas de la lista serían aquellas capaces de contagiar a muchas otras. Tal como dijo Buffett, «acostarse con unos y con otros, por seguir con nuestra metáfora, puede, de hecho, ser útil para los grandes vendedores de derivados porque les garantiza que el Gobierno acudirá en su ayuda si llegan los problemas».

Dada la aparente vulnerabilidad de las redes financieras, los bancos centrales y los reguladores necesitaban entender la crisis de 2008. ¿Qué otros factores estaban favoreciendo la transmisión? El Banco de Inglaterra ya había estado trabajando en modelos de contagio financiero antes de la crisis, pero en 2008 esa tarea se hizo más urgente. «Empezamos a usar esos modelos con datos reales cuando estalló la crisis —dijo Haldane—. No solo para entender lo que estaba pasando, sino, lo que era más importante, para saber qué podíamos hacer para evitar que volviese a pasar».

Cuando un banco le presta dinero a otro, se crea un vínculo tangible entre ambos: si el prestatario se hunde, el acreedor pierde su dinero. En teoría, podemos analizar esta red para comprender cuáles son los riegos de un brote, tal como hacemos con las ETS. Pero ese no es el único problema. Nim Arinaminpathy señaló que las redes de préstamos solo eran uno de los muchos problemas a los que nos enfrentábamos en 2008. «Es casi como el VIH —me dijo durante nuestra entrevista en 2017—. Puedes tener contagios a través de contactos sexuales, pero también por intercambio de jeringuillas o transfusiones de sangre. Hay múltiples vías de transmisión». En el mundo de las finanzas, el contagio también puede venir de distintas fuentes: «No se trata solo de las relaciones crediticias; también incluye los activos compartidos y otras fuentes de exposición».

Una idea muy compartida en el mundo financiero es que los bancos pueden diversificar para reducir su riesgo global. Cuando un banco tiene un conjunto de inversiones, los riesgos individuales se compensarán los unos a los otros, mejorando la estabilidad del banco. En la antesala de la crisis de 2008, la mayoría de los bancos habían adoptado ese enfoque. Todos ellos, sin embargo, habían escogido invertir en los mismos tipos de activos e ideas. Aunque cada banco individual había diversificado sus inversiones, había poca diversidad en la forma en la que lo habían hecho como colectivo.

¿Por qué ese comportamiento tan similar? Durante la Gran Depresión que siguió al hundimiento de Wall Street en 1929, el economista John Maynard Keynes observó que hay un fuerte incentivo a seguir a la manada. «Un banquero sensato, por desgracia, no es el que prevé el peligro y lo evita —escribió—, sino el que cuando está arruinado, lo está de manera convencional al igual que sus colegas, de manera que nadie puede realmente culparle». [160] Los incentivos también funcionan en la otra

dirección. Antes de 2008, muchas empresas comenzaron a invertir en productos financieros de moda como las CDO, de los que no sabían absolutamente nada. Janet Tavakoli señaló que los bancos estaban más que dispuestos a complacer esas preferencias, inflando aún más la burbuja. «Como dicen en el póker —escribió—, si no puedes descubrir quién es el primo de la mesa, es que eres tú». [161]

Cuando muchos bancos invierten en el mismo activo, se crea una potencial ruta de transmisión entre ellos. Si llega una crisis y uno de los bancos comienza a vender sus activos, las restantes empresas que ostentan esas inversiones se verán afectadas. Cuanto más diversifiquen los bancos sus inversiones, más oportunidades habrá de compartir el contagio. Varios estudios han descubierto que durante una crisis financiera la diversificación puede desestabilizar al conjunto de la red. [162]

Robert May y Andy Haldane señalaron que, históricamente, los mayores bancos han retenido una cantidad menor de capital que sus colegas más pequeños. El argumento popular era que debido a que estos bancos tenían inversiones más diversificadas, se enfrentaban a un riesgo menor. Por ello, no necesitaban un gran amortiguador contra pérdidas inesperadas. La crisis de 2008 desveló los fallos de este razonamiento. Los grandes bancos no tienen una menor probabilidad de caer que los pequeños. Es más, estas grandes empresas eran desproporcionadamente importantes para la estabilidad de la red financiera. «Lo que importa no es lo cerca que está un banco determinado del precipicio —escribieron May y Haldane en 2011—, sino lo pronunciada que es la caída». [163]

Dos días después del hundimiento de Lehman, el periodista del *Financial Times* John Authers acudió a una sucursal del Citibank en Manhattan durante su pausa para comer. Quería sacar dinero de su cuenta. Parte de su dinero estaba garantizado por el seguro gubernamental de depósitos, pero solo hasta un cierto límite; si Citibank también colapsaba, perdería el resto. No era el único que había tenido la misma idea. «Me encontré con una larga cola, toda ella formada por bien vestidos empleados de Wall Street —escribiría después—. Todos estábamos haciendo lo mismo». [164] El personal del banco le ayudó a abrir nuevas cuentas a nombre de su mujer y sus hijos, reduciendo así el riesgo. Authers se sorprendió al enterarse de que llevaban toda la mañana haciendo eso. «Me estaba costando un poco respirar. Se estaba produciendo una retirada de depósitos masiva, en el

distrito financiero de Nueva York. Aquellos que habían entrado en pánico eran los empleados de Wall Street mejor enterados de lo que estaba pasando». ¿Debería informar de ello? Dada la severidad de la crisis, Authers decidió que eso solo empeoraría la situación. «Una historia como esa en la primera página del *FT* habría sido suficiente para empujar al sistema al precipicio». Sus colegas de otros periódicos llegaron a la misma conclusión, y esa retirada de depósitos no apareció en las noticias.

La analogía entre el contagio financiero y el biológico es un punto de partida útil, pero hay un factor que esta analogía no tiene en cuenta. Para contagiarse durante el brote de una enfermedad, una persona necesita estar expuesta al patógeno. El contagio financiero también puede propagarse a través de fuentes de exposición tangibles, como un préstamo entre bancos o una inversión en el mismo activo que algún otro banco. La diferencia con el mundo de las finanzas es que las empresas no siempre necesitan una exposición directa para enfermar. «Hay una forma de transmisión que es improbable en cualquier otra red que hayamos analizado —dijo Nim Arinaminpathy—. Puedes tener instituciones aparentemente sanas que acaben hundiéndose». Si el público cree que un banco se va a hundir, pueden intentar retirar su dinero todos a la vez, lo que hundiría al banco más saludable. Igualmente, cuando los bancos pierden confianza en el sistema financiero —como pasó en 2007-2008— a menudo acumulan dinero en lugar de prestarlo. Los rumores y especulaciones que circulan de un agente comercial a otro podrían por ello hundir empresas que, en condiciones normales, habrían sobrevivido a la crisis.

En 2011, Arinaminpathy y Robert May trabajaron con Sujit Kapadia en el Banco de Inglaterra para investigar no solo la transmisión directa a través de malos préstamos o inversiones compartidas, sino también el efecto indirecto del temor y el pánico. Descubrieron que si los banqueros empezaban a acumular dinero cuando perdían la confianza en el sistema, esto exacerbaría la crisis: bancos que de otra manera habrían tenido suficiente capital para capearla, se hundirían. El daño era mucho mayor cuando había grandes bancos implicados, porque tendían a estar en el centro mismo del sistema financiero. [165] Lo que esto sugería es que, en lugar de simplemente fijarse en el tamaño de los bancos, los reguladores deberían tener en cuenta quién está en el centro del sistema. No es tanto que los bancos sean «demasiado grandes para caer»; es más bien que sean «demasiado centrales para caer».

Este tipo de intuiciones tomadas de la teoría de las epidemias se están poniendo ahora en práctica, algo que Haldane ha descrito como un «giro filosófico» en nuestra forma de pensar acerca del contagio financiero. Uno de los mayores cambios ha sido conseguir que los bancos retengan más capital si son importantes para la red, reduciendo su susceptibilidad a la infección. Está además la cuestión de los vínculos de la red que sirven para transmitir la infección. ¿Podrían los reguladores ocuparse también de ello? «La parte más dura de todo esto —me contó Haldane— es cuando te preguntas cosas como "¿deberíamos actuar para cambiar la estructura misma de la red?". Entonces es cuando la gente empezaba a protestar, porque era una intervención más intrusiva en su modelo de negocio».

En 2011, una comisión encabezada por John Vickers recomendó que los mayores bancos británicos rodeasen sus actividades comerciales más arriesgadas de un «cordón sanitario». [166] Esto evitaría que los efectos negativos de unas malas inversiones se propagasen a la parte comercial del banco, la que se ocupa, por ejemplo, de las cuentas corrientes. «El cordón sanitario ayudaría a aislar la banca comercial del Reino Unido de *shocks* externos —sugería la comisión—. De esa manera, uno de los canales de interconexión del sistema financiero —y por tanto, de contagio— se volvería más seguro». El Gobierno británico finalmente puso en práctica la recomendación, obligando a los bancos a separar sus actividades. Al ser una política muy dura de aplicar, no se puso en práctica en todas partes; la creación de esos «cordones sanitarios» fue propuesta en otras partes de Europa, pero no se llevó a la práctica. [167]

La creación de cordones sanitarios no es la única estrategia para reducir el contagio. Cuando los bancos comercian con derivados financieros, a menudo lo hacen «en ventanilla» —directamente de una compañía a otra—, en lugar de hacerlo de manera centralizada. Esa actividad comercial facturó casi seiscientos billones de dólares en 2018. [168] No obstante, desde 2009, los mayores contratos de derivados ya no se realizan directamente entre grandes bancos. Ahora tienen que reconducirlos a través de centros gestionados de forma independiente, lo que supone una forma de simplificar la estructura de la red.

El peligro, por supuesto, es que si uno de esos centros cae, se puede convertir en un superpropagador gigante. «Si hay un gran *shock* , empeora las cosas, porque el riesgo está concentrado —como dijo Barbara Casu, una economista de la Cass Business School—. Debería actuar como un

amortiguador de riesgos, pero en casos extremos podría actuar como un amplificador de estos». [169] Para protegerse de este problema, los centros tienen acceso a capital de emergencia aportado por los miembros que operan a través de ellos. Este enfoque mutualizado ha generado críticas por parte de financieros que prefieren un estilo de banca del tipo «sálvese quien pueda». [170] No obstante, lo cierto es que al eliminar de la red el entramado de bucles ocultos, los centros deberían reducir la posibilidad de contagio, así como la incertidumbre acerca de quién está en situación de riesgo.

A pesar de todo lo que hemos avanzado en la comprensión del contagio financiero, queda trabajo por hacer. «Me recuerda a los modelos de enfermedades infecciosas de los setenta y ochenta —decía Arinaminpathy —. Había mucha teoría fantástica y faltaban datos». Uno de los mayores obstáculos es el acceso a la información comercial. Los bancos son por naturaleza celosos de sus negocios, lo que dificulta que los investigadores tengan una visión exacta de cómo están conectadas las instituciones, particularmente a nivel global. Esto dificulta a su vez evaluar potenciales contagios. Los investigadores de las redes han descubierto que, cuando se analiza la probabilidad de una crisis, pequeños errores de conocimiento acerca de la red crediticia podrían llevar a grandes errores en la estimación del riesgo al que se enfrenta el sistema. [171]

No obstante, no es solo un problema de datos comerciales. Además de estudiar la estructura de las redes, tenemos que estudiar más en profundidad lo que Newton denominó «la locura de la gente». Tenemos que considerar cómo surgen las creencias y los comportamientos, y cómo se propagan. Esto supone pensar en las personas, y no solo en los patógenos. Desde las innovaciones a las infecciones, el contagio es a menudo un proceso social.

---

[72] El matemático Andrew Odlyzko señala que la pérdida final pudo haber sido mayor de veinte mil libras. Además, sugiere que un múltiplo de mil es razonable para convertir el valor monetario de 1720 a cantidades actuales. El salario como profesor de Newton en Cambridge era de alrededor de cien libras al año. Odlyzko, A., «Newton's Financial Misadventures in the South Sea Bubble», *Notes and Records: The Royal Society* , 2018.

[73] Se traduciría como «Gestión de Capital a Largo Plazo». *(N. del T.)* .

[74] Información sobre Thorp y Simons: Patterson, S., *The Qants* , Nueva York: Crown Business, 2010. Información sobre LTCM: Lowenstein, R., *When Genius Failed: The Rise and Fall of Long Term Capital Management* , Nueva York: Random House, 2000.

[75] Allen, F. *et al.* , «The Asian crisis and the process of financial contagion», *Journal of Financial Regulation and Compliance* , 1999. Los datos sobre el crecimiento de popularidad del término *contagio financiero* están tomados de Google Ngram.

[76] Información sobre las CDO: MacKenzie, D. *et al.* , «The formula that killed Wall Street? The Gaussian copula and the material cultures of modelling», 2012, www.sps.ed.ac.uk/_data/assets/pdf_file/0003/84243/Gaussian14.pdf.

[77] Deutsche Bank, «Deutsche Bank appoints Sajid Javid Head of Global Credit Trading, Asia», nota de prensa, 11 de octubre de 2006; Roy, S., «Credit derivatives: squeeze is over for EM CDOs», *Euromoney* , 27 de julio de 2006; Herrmann, J., «What Thatcherite union buster Sajid Javid learned on Wall Street», *The Guardian* , 15 de julio de 2015.

[78] Derman, E., «Model risk», *Goldman Sachs Quantitative Strategies Research Notes* , abril de 1996.

[79] Ben Bernanke, entrevista en la CNBC, 1 de julio de 2005.

[80] Según MacKenzie *et al.* («The formula that killed Wall Street?»), «la crisis no fue causada por "yonquis de los modelos", sino por actores creativos, con recursos, bien informados y reflexivos que conscientemente explotaron el papel de los modelos en la gestión de las inversiones». Citaban varios ejemplos de personas que jugaban con los cálculos para asegurarse de que las CDO parecieran al mismo tiempo lucrativas y de bajo riesgo.

[81] Tavakoli, J., «Comments on SEC proposed rules and oversight of NRSROs», carta a la Comisión del Mercado de Valores, 13 de febrero de 2007.

[82] MacKenzie, J. *et al.* , «The formula that killed Wall Street?».

[83] Kambhu, J. *et al.* , *New Directions for Understanding Systemic Risk* , Washington D. C.: National Academies Press, 2007.

[84] Chapple, S., «Math expert finds order in disorder, including stock market», *San Diego Union-Tribune* , 28 de agosto de 2011.

[85] Citado en Dalton, R., «Fishy futures», *Nature* , 21 de septiembre de 2005.

[86] Información sobre la participación de May en el debate: May, R., «Epidemiology of financial networks», presentación en el evento LSHTM del Bicentenario de John Snow, abril de 2013.

[87] «Was tulipmania irrational», *The Economist* , 4 de octubre de 2013.

[88] Goldgar, A., «Tulip mania: the classic story of a Dutch financial bubble is mostly wrong», *The Conversation* , 12 de febrero de 2018.

[89] Origen y significado de *burbuja* , Online Etimology Dictionary, consultado el 21 de enero de 2020, www.etymonline.com/word/bubble.

[90] Odlyzko, «Newton's financial misadventures in the South Sea Bubble».

[91] Odlyzko, A., «Collective hallucinations and inefficient markets: the British Railway Mania of the 1840s», artículo, School of Mathematics and Digital Technology Center, 2010, www.dtc.umn.edu/~odlyzko/doc/hallucinations.pdf.

[92] Kindleberger, C. P. y R. Z. Aliber, *Manías, pánicos y cracs: historia de las crisis financieras* , Barcelona: Ariel, 1992.

[93] Chow, E. K., «Why China keeps falling for pyramid schemes», *The Diplomat* , 5 de marzo de 2018; «Pyramid schemes cause huge social harm in China», *The Economist* , 3 de febrero de 2018.

[94] Sornette, D. *et al.* , «Financial bubbles: mechanisms and diagnostics», *Review of Behavioral Economics* , 2015.

[95] Coffman, K. G. *et al.* , «The size and growth rate of the internet», *First Monday* , octubre de 1998.

[96] Odlyzko, A. «Internet traffic growth: sources and implications», artículo, Universidad de Minnesota, 2000, www.dtc.umn.edu/~odlyzko/doc/itcom.internet.growth.pdf.

[97] «John Oliver on cryptocurrency: 'You're not investing, you're gambling'», *The Guardian* , 12 de marzo de 2018.

[98] Datos de www.coindesk.com/price/bitcoin. El precio era de 19.395 dólares el 18 de diciembre de 2017 y de 3.220 dólares el 16 de diciembre de 2018.

[99] Rodrigue, «Stages in a bubble».

[100] Kindleberger y Aliber, *Manías, pánicos y cracs.*

[101] Odlyzko, «Collective hallucinations and inefficient markets».

[102] Sandbu, M., «Ten years on: anatomy of the global financial meltdown», *Financial Times* , 9 de agosto de 2017.

[103] Alessandri, P. y A. G. Haldane, «Banking on the State», documento del Banco de Inglaterra, 6 de noviembre de 2009.

[104] Elliott, L. y J. Treanor, «The minutes that reveal how the Bank of England handled the financial crisis», *The Guardian* , 7 de enero de 2015.

[105] Entrevista del autor con Nim Arinaminpathy, agosto de 2017.

[106] Brauer, F., «Mathematical epidemiology: past, present and future», *Infectious Disease Modelling* , 2017; Bartlett, M. S., «Measles periodicity and community size», *Journal of the Royal Statistical Society, Series A* , 1957.

[107] Heesterbeek, J. A., «A brief history of R0 and a recipe for its calculation», *Acta Biotheoretica* , 2002.

[108] Smith, D. L. *et al.* , «Ross, Macdonald, and a theory for the dynamics and control of mosquito-transmitted pathogens», *PLOS Pathogens* , 2012.

[109] Nájera, J. A. *et al.* , «Some lessons for the future from the Global Malaria Eradication Programme (1955-1969)», *PLOS Medicine* , 2011. La erradicación de la viruela ya se había propuesto en 1953, pero fue acogida con poco entusiasmo.

[110] Información sobre el número de reproducción: Heesterbeek, «A brief history of R0 and a recipe for its calculation».

[111] Abbott, S. *et al.* , «Temporal variation in transmission during the COVID-19 outbreak», repositorio del CMMID sobre COVID-19, disponible en: https://cmmid.github.io/topics/covid19/current-patterns-transmission/global-time-varying-transmission.html.

[112] Estimaciones del número de reproducciones: Fraser, C. *et al.* , «Pandemic potential of a strain of influenza A (H1N1): early findings», *Science* , 2009; Equipo de Respuesta al Ébola de la OMS, «Ebola virus disease in West Africa: the first 9 months of the epidemic and forward projections», *New England Journal of Medicine* , 2014; Riley, S. *et al.* , «Transmission dynamics of the etiological agent of SARS in Hong Kong», *Science* , 2003; Gani, R. y S. Leach, «Transmission potential of smallpox in contemporary populations», *Nature* , 2001; Anderson, R. M. y R. M. May, *Infectious Diseases of Humans: Dynamics and Control* , Oxford: Oxford University Press, 1992; Guerra, F. M. *et al.* , «The basic reproduction number (R0) of measles: a systematic review», *The Lancet* , 2017.

[113] Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, «Transmisión del sarampión», 2017, www.cdc.gov/measles/transmission-sp.html.

[114] Fine, P. E. M. y J. A. Clarkson, «Measles in England and Wales I: an analysis of factors underlying seasonal patterns», *International Journal of Epidemiology* , 1982.

[115] «How Princess Diana changed attitudes to Aids», BBC.com, 5 de abril de 2017, www.bbc.com/news/av/magazine-39490507/how-princess-diana-changed-attitudes-to-aids?ocid=socialflow_facebook&fbclid=IwAR0ffK-B00XRGV00mVkk9peKwsTr9M2KuFtFymIHOEfyN40NUMaiaOGZawBE

[116] May, R. M. y R. M. Anderson, «Transmission dynamics of HIV infection», *Nature* , 1987.

[117] «DOTS» son las siglas en inglés de *duration* , *opportunities* , *transmission* y *susceptibility* , y en ese idioma la palabra *dots* equivale a «puntos». *(N. del T.)* .

[118] Eakle, R. *et al.* , «Pre-exposure prophylaxis (PrEP) in an era of stalled HIV prevention: can it change the game?», *Retrovirology* , 2018.

[119] Anderson y May, *Infectious Diseases of Humans* .

[120] Fenner, F. *et al.* , *Smallpox and Its Eradication* , Ginebra: OMS, 1988.

[121] Wehrle, P. F. *et al.* , «An airborne outbreak of smallpox in a German hospital and its significance with respect to other recent outbreaks in Europe», *Bulletin of the World Health Organization* , 1970.

[122] Woolhouse, M. E. J. *et al.* , «Heterogeneities in the transmission of infectious agents: implications for the design of control programs», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* , 1997. Esta idea se basa en una observación realizada por el economista del siglo XIX Vilfredo Pareto, que descubrió que el 20 por ciento de los italianos poseía el 80 por ciento de la tierra.

[123] Lloyd-Smith, J. O. *et al.* , «Superspreading and the effect of individual variation on disease emergence», *Nature* , 2005.

[124] Worobey, M. *et al.* , «1970s and "patient 0" HIV-1 genomes illuminate early HIV/AIDS history in North America», *Nature* , 2016.

[125] Bollobás, B., «To prove and conjecture: Paul Erdős and his mathematics», *American Mathematical Monthly* , 1998.

[126] Potterat, J. J. *et al.* , «Sexual network structure as an indicator of epidemic phase», *Sexually Transmitted Infections* , 2002.

[127] Watts, D. J. y S. H. Strogatz, «Collective dynamics of "small-world" networks», *Nature* , 1998.

[128] Barabási, A.-L. y R. Albert, «Emergence of scaling in random networks», *Science* , 1999. Una idea similar surgió en la década de 1970, cuando el físico Derek de Solla Price analizó las publicaciones académicas. Sugirió que la conexión preferente podía explicar la extrema variación en el número de citas: un artículo era más probable que fuese citado si ya era muy citado. Fuente: Price, D. D. S., «A general theory of bibliometric and other cumulative advantage processes», *Journal of the American Society for Information Science* , 1976.

[129] Liljeros, F. *et al.* , «The web of human sexual contacts», *Nature* , 2001; De Blasio, B. *et al.* , «Preferential attachment in sexual networks», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* , 2007.

[130] Yorke, J. A. *et al.* , «Dynamics and control of the transmission of gonorrhea», *Sexually Transmitted Diseases* , 1978.

[131] May, R. M. y R. M. Anderson, «The transmission dynamics of human immunodeficiency virus (HIV)», *Philosophical Transactions of the Royal Society B* , 1988.

[132] Foy, B. D. *et al.* , «Probable non-vector-borne transmission of Zika virus, Colorado, USA», *Emerging Infectious Diseases* , 2011.

[133] Counotte, M. K. *et al.* , «Sexual transmission of Zika virus and other flaviviruses: a living systematic review», *PLOS Medicine* , 2018; Folkers, K. M., «Zika: the millennials' S. T. D.?», *New York Times* , 20 de agosto de 2016.

[134] Otros investigadores alcanzaron la misma conclusión. Fuente: Yakob, L. *et al.* , «Low risk of a sexually-transmitted Zika virus outbreak», *The Lancet Infectious Diseases* , 2016; Althaus, C. L. y N. Low, «How relevant is sexual transmission of Zika virus?», *PLOS Medicine* , 2016.

[135] Información sobre la transmisión inicial del VIH-sida: Worobey *et al.* , «1970s and "patient 0" HIV-1 genomes illuminate early HIV/AIDS history in North America»; McKay, R. A., «"Patient Zero": the absence of a patient's view of the early North American AIDS epidemic», *Bulletin of the History of Medicine* , 2014.

[136] Por la inicial en inglés de «outside California». *(N. del T.)* .

[137] Esto era antes de que los CDC cambiasen su nombre por el de Centros para el Control y la Prevención de las Enfermedades en 1992.

[138] McKay, «Patient Zero».

[139] Sapatkin, D., «AIDS: the truth about patient zero», *Philadelphia Inquirer* , 6 de mayo de 2013.

[140] OMS, «El caso de enfermedad por el virus del Ebola (EVE) de Malí fue importado de Guinea», 10 de noviembre de 2014, https://www.who.int/mediacentre/news/ebola/10-november-2014-mali/es/.

[141] Robert, A. *et al.* , «Determinants of transmission risk during the last stage of the West Africa ebola epidemic», *American Journal of Epidemiology* , 2019.

[142] Nagel, T., «Moral luck», en *Moral Questions* , Cambridge: Cambridge University Press, 1979.

[143] Gladwell, M., *El punto clave* , Madrid: Taurus, 2017.

[144] Potterat, J. J. *et al.* , «Gonorrhoea as a social disease», *Sexually Transmitted Diseases* , 1985.

[145] Potterat, J. J., *Seeking the Positives: A Life Spent on the Cutting Edge of Public Health* , autoedición, CreateSpace, 2015.

[146] Kilikpo Jarwolo, J. L., «The hurt—and danger—of Ebola stigma», ActionAid, 2015 (artículo ya no disponible *online*).

[147] Frith, J., «Syphilis: its early history and treatment until penicillin and the debate on its origins», *Journal of Military and Veterans' Health* , 2012.

[148] Badcock, J., «Pepe's story: how I survived the Spanish flu», BBC.com, 21 de mayo de 2018, www.bbc.com/news/world-europe-43866250.

[149] Enserink, M., «War stories», *Science* , 15 de marzo de 2013.

[150] Lee, J.-W. y W. J. McKibbin, «Estimating the global economic cost of SARS», en *Learning from SARS: Preparing for the Next Disease Outbreak: Workshop Summary* , Washington D. C.: National Academies Press, 2004.

[151] Haldane, A., «Rethinking the financial network», discurso, Banco de Inglaterra, 28 de abril de 2009, www.bankofengland.co.uk/speech/2009/rethinking-the-financial-network.

[152] Crampton, T., «Battling the spread of SARS, Asian nations escalate travel restrictions», *New York Times* , 12 de abril de 2003. Aunque las restricciones a los viajes fueron impuestas durante el

brote, esas restricciones probablemente tuvieron un menor efecto de contención que medidas como la identificación de los casos y el rastreo de los contactos. De hecho, la OMS no recomendó la aplicación de restricciones durante este periodo: OMS, «Summary of WHO measures related to international travel», 24 de junio de 2003, www.who.int/csr/sars/travelupdate/en/.

[153] Owens, R. E. y S. L. Schreft, «Identifying credit crunches», *Contemporary Economic Policy* , 1995.

[154] Información y notas de la entrevista del autor con Andy Haldane, julio de 2018.

[155] Soramäki, K. *et al.* , «The topology of interbank payment flows», *Federal Reserve Bank of New York Staff Report* , 2006.

[156] Gupta, S. *et al.* , «Networks of sexual contacts: implications for the pattern of spread of HIV», *AIDS* , 1989.

[157] Haldane, A. y R. M. Mary, «The birds and the bees, and the big banks», *Financial Times* , 20 de febrero de 2011.

[158] Haldane, A., «Rethinking the financial network».

[159] Buffett, W., carta a los accionistas de Berkshire Hathaway Inc., 27 de febrero de 2009.

[160] Keynes, J. M., «The consequences to the banks of the collapse of money values», *Essays in Persuasion* , Londres: Macmillan, 1931.

[161] Tavakoli, J., «Comments on SEC proposed rules and oversight of NRSROs», carta a la Comisión del Mercado de Valores, 13 de febrero de 2007.

[162] Arinaminpathy, N. *et al.* , «Size and complexity in model financial systems», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* , 2012; Caccioli, F. *et al.* , «Stability analysis of financial contagion due to overlapping portfolios», *Journal of Banking and Finance* , 2014; Bardoscia, M. *et al.* , «Pathways towards instability in financial networks», *Nature Communications* , 2017.

[163] Haldane y May, «The birds and the bees, and the big banks».

[164] Authers, J., «In a crisis, sometimes you don't tell the whole story», *Financial Times* , 8 de septiembre de 2018.

[165] Arinaminpathy *et al.* , «Size and complexity in model financial systems».

[166] Comisión Independiente sobre la Banca, *Final Report Recommendations* , septiembre de 2011, https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20120827143059/http://bankingcommission.independent.gov.uk/.

[167] Withers, I., «EU banks spared ringfencing rules imposed on British lenders», *The Telegraph* , 24 de octubre de 2017.

[168] Banco de Pagos Internacionales, «Statistical release: OTC derivatives statistics at end-June 2018», 31 de octubre de 2018, www.bis.org/publ/otc_hy1810.pdf.

[169] Entrevista del autor con Barbara Casu, septiembre de 2018.

[170] Jenkins, P., «How much of a systemic risk is clearing», *Financial Times* , 8 de enero de 2018.

[171] Battiston, S. *et al.* , «The price of complexity in financial networks», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* , 2016.

03

La medida de la amistad

Las condiciones de la apuesta eran simples. Si John Ellis perdía a los dardos, tendría que incluir la palabra *pingüino* en su próximo artículo científico. Era 1977, y Ellis y sus colegas estaban en un *pub* cerca del laboratorio de física de partículas del CERN, a las afueras de Ginebra. Ellis jugaba contra Melissa Franklin, una estudiante visitante. Melissa tuvo que irse antes de finalizar el juego, pero otro investigador ocupó su puesto y aseguró la victoria. «No obstante —diría más adelante Ellis—, me sentí obligado a cumplir con las condiciones de la apuesta». [172]

La cuestión era cómo meter a un pingüino en un artículo de física. En ese momento, Ellis estaba trabajando en un manuscrito que describía cómo se comportaba un tipo especial de partícula subatómica —el llamado quark fondo—. Como era normal en física, hizo un diagrama con flechas y circuitos que mostraban cómo las partículas pasaban de un estado a otro. Introducidos por vez primera en 1948 por Richard Feynman, estos «diagramas de Feynman» se habían convertido en una herramienta muy utilizada por los físicos. El diagrama le dio a Ellis la inspiración que necesitaba. «Un día, después de trabajar en el CERN, me detuve de camino a mi casa para visitar a unos amigos que vivían en Meyrin, donde fumé alguna sustancia ilegal —recordaba Ellis—. Después, ya de vuelta en mi apartamento y mientras trabajaba en nuestro artículo, tuve de repente la epifanía de que los famosos diagramas tenían forma de pingüino».

La idea de Ellis haría fortuna. Desde que se publicó el artículo, sus «diagramas de pingüino» se han citado miles de veces por otros físicos. Y, no obstante, los diagramas de pingüino no están ni mucho menos tan extendidos como las figuras en las que se basan. Los diagramas de Feynman se extenderían rápidamente después de su debut en 1948, transformando la física. Una de las instituciones que ayudaron a su

expansión fue el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton (Nueva Jersey). Su director era J. Robert Oppenheimer, que anteriormente había liderado el programa estadounidense para desarrollar la bomba atómica. Oppenheimer llamaba al instituto su «hotel intelectual», y contrató a una serie de jóvenes investigadores para puestos de dos años. [173] Mentes jóvenes de todo el mundo respondieron a la llamada de Oppenheimer a favorecer la libre circulación global de las ideas. En sus propias palabras, «la mejor manera de mandar información es envolverla en una persona».

La propagación de los conceptos científicos inspiraría las primeras investigaciones sobre la transmisión de las ideas. A comienzos de la década de 1960, el matemático estadounidense William Goffman sugirió que la transferencia de información entre científicos funcionaba en gran medida como una epidemia. [174] De la misma manera que enfermedades como la malaria se transmiten de una persona a otra por medio de los mosquitos, las investigaciones científicas a menudo pasan de un científico a otro por medio de los artículos académicos. Desde la teoría de la evolución de Darwin hasta las leyes del movimiento de Newton y el movimiento psicoanalítico de Freud, los nuevos conceptos se han propagado a científicos «susceptibles» que entraron en contacto con ellos.

Aun así, no todo el mundo era susceptible a la atracción de los diagramas de Feynman. Un investigador escéptico era Lev Landau, del Instituto de Moscú para los Problemas de Física. Landau, un físico muy respetado, tenía unas ideas muy claras acerca de cuánto respetaba a los demás; se sabía que tenía una lista en la que puntuaba a sus colegas investigadores. Landau empleaba una escala inversa de cero a cinco. Una puntuación de cero se asignaba al mayor de los físicos —una posición que en su lista solo ocupaba Newton—, mientras que cinco significaba «prosaico». Landau se puntuaba a sí mismo con un 2,5, una puntuación que subió hasta un dos cuando le concedieron el Premio Nobel en 1962. [175]

Aunque Landau le daba un uno a Feynman, no estaba particularmente impresionado por los diagramas, a los que consideraba una distracción de problemas más importantes. Landau dirigía un popular seminario semanal en el Instituto de Moscú. En dos ocasiones, los ponentes intentaron presentar diagramas de Feynman, y en ambas ocasiones fueron expulsados del podio antes de que pudieran terminar sus presentaciones. Cuando un estudiante de doctorado dijo que estaba planeando seguir a Feynman, Landau le acusó de «dejarse llevar por la moda». Landau finalmente usó los

diagramas en un artículo de 1954, pero externalizó el complejo análisis a dos de sus estudiantes. «Es el primer trabajo en el que no he podido llevar a cabo los análisis por mí mismo», le confesó a un colega. [176]

¿Qué efecto tuvieron individuos como Landau sobre la propagación de los diagramas de Feynman? En 2005, el físico Luís Bettencourt, el historiador David Kaiser y sus colegas decidieron estudiarlo. [177] Kaiser había reunido previamente revistas académicas publicadas en todo el mundo en los años posteriores al anuncio de la idea de Feynman. Después buscó en cada una de esas revistas referencias a los diagramas de Feynman y cuántos autores habían adoptado la idea a lo largo del tiempo. Cuando el equipo trazó el gráfico de los datos, vieron que el número de autores que empleaban los diagramas seguía una familiar curva de adopción en forma de S, aumentando exponencialmente hasta finalmente alcanzar una meseta.

El siguiente paso era cuantificar lo contagiosa que había sido la idea. Aunque los diagramas se habían originado en los Estados Unidos, se propagaron rápidamente cuando llegaron a Japón. La propagación fue más débil en la Unión Soviética, donde la adopción de los diagramas fue más lenta que en los otros dos países. Esto era consistente con el relato histórico. Las universidades japonesas se habían expandido rápidamente durante el periodo de posguerra y habían generado una fuerte comunidad de investigadores en física de partículas. Por el contrario, la Guerra Fría —combinada con el escepticismo de investigadores como Landau— había frenado la expansión de los diagramas en la Unión Soviética.

Con los datos de los que disponían, Bettencourt y sus colegas podían también estimar el número de reproducción, R, de un diagrama de Feynman: por cada físico que adoptaba la idea, ¿a cuántos acababa transmitiéndola? Sus resultados sugerían que a un montón: como idea, era muy contagiosa. Inicialmente, el R había sido de 15 en los Estados Unidos y potencialmente de 75 en Japón. Fue una de las primeras veces en las que unos investigadores habían intentado medir el número de reproducción de una idea, poniendo una cifra a lo que anteriormente había sido una noción vaga sobre el contagio.

Esto llevaba a preguntarse por qué la idea había sido tan popular. Quizá era porque los físicos estaban interactuando frecuentemente unos con otros durante este periodo. No necesariamente: el alto valor de R parecía deberse más bien a que los investigadores seguían propagando la idea durante mucho tiempo una vez que la habían adoptado. «La propagación de los

diagramas de Feynman parecía algo muy parecido a la lenta propagación de una enfermedad», señalaron los investigadores. La adopción «se debió principalmente a la larga vida de la idea, más que a unas tasas de contacto anormalmente altas». [178]

Rastrear las redes de citas académicas no solo nos proporciona información sobre cómo se propagan las nuevas ideas. También podemos aprender acerca de cómo surgen. El dominio de un campo por parte de unos científicos muy respetados puede perjudicar el crecimiento de ideas rivales. Como resultado, las nuevas teorías solo pueden cobrar impulso una vez que los científicos dominantes ceden protagonismo. Como supuestamente dijo una vez el físico Max Planck, «la ciencia avanza de funeral en funeral». Investigadores del MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts) han comprobado este famoso comentario analizando lo que ocurre tras la muerte prematura de científicos de elite. [179] Descubrieron que los grupos rivales publicaban más artículos —y obtenían más citas— mientras que los colaboradores del investigador «estrella» tendían a marchitarse.

Los artículos científicos no son relevantes solo para los científicos. Ed Catmull, cofundador de Pixar, argumentó que las publicaciones son una forma útil de construir vínculos con especialistas de fuera de su empresa. [180] «Publicar puede revelar nuevas ideas, pero también nos mantiene conectados con la comunidad académica —escribió en una ocasión—. Esta conexión es más valiosa que cualquier idea que hayamos podido revelar». Pixar es conocida por favorecer encuentros de «mundo pequeño» entre distintas partes de una red.

Esto influyó incluso en el diseño de su sede, que tiene un gran atrio central con espacios para interacciones casuales, como el área donde están los buzones de correo o la cafetería. En palabras de Catmull, «la mayoría de los edificios están diseñados para algún propósito funcional, pero el nuestro está estructurado para maximizar los encuentros fortuitos». La idea de la arquitectura social también cuajó en otros sitios. En 2016, el Instituto Francis Crick abrió su sede de Londres. Se trataba del mayor laboratorio biomédico de Europa, y daría acogida a alrededor de mil doscientos científicos en un edificio valorado en 650 millones de libras. Según su director, Paul Nurse, su estructura estaba diseñada para que la gente interactuase, creando «una cierta apacible anarquía». [181]

Los encuentros inesperados pueden ayudar a la innovación, pero si las compañías eliminan demasiadas fronteras en la oficina, podría producirse el

efecto contrario. Cuando investigadores de la Universidad de Harvard utilizaron rastreadores digitales para supervisar a empleados de grandes compañías, descubrieron que la introducción de oficinas abiertas redujo las interacciones cara a cara en un 70 por ciento. La gente escogió comunicarse *online* , lo que se reflejó en un aumento del 50 por ciento en el uso del correo electrónico. Abrir las oficinas había disminuido el número de interacciones relevantes, reduciendo la productividad. [182]

Para que algo se propague, las personas susceptibles y contagiosas necesitan entrar en contacto, directa o indirectamente. Ya estemos analizando innovaciones o infecciones, el número de oportunidades para la transmisión depende de la frecuencia con la que se producen los contactos. Si queremos entender el contagio, necesitamos, por lo tanto, entender cómo interactuamos los unos con los otros. No obstante, esto ha resultado ser realmente difícil.

«Thatcher frena una encuesta sobre sexo», rezaba el titular del *Sunday Times* . Era septiembre de 1989 y el Gobierno acababa de bloquear una propuesta para estudiar el comportamiento sexual en el Reino Unido. Enfrentados a una creciente epidemia de VIH, los investigadores eran muy conscientes de la importancia de los encuentros sexuales para su propagación. El problema es que nadie sabía realmente la frecuencia de estos. Como diría más adelante Anne Johnson, una de las investigadoras que habían propuesto el estudio para el Reino Unido, «no teníamos ni idea de los estimadores que explicaban la epidemia de VIH. No sabíamos qué proporción de la población tenía parejas gais, no sabíamos el número de parejas que tenía la gente». [183]

A mediados de la década de 1980, un grupo de investigadores de la salud concibieron la idea de medir el comportamiento sexual a escala nacional. Habían llevado a cabo un estudio piloto, pero les estaba costando montar la encuesta principal. Había rumores de que Margaret Thatcher había vetado la financiación gubernamental, creyendo que el estudio supondría una intrusión en la vida privada de la gente, lo que llevaría a «especulaciones indecorosas». Por suerte, había otra opción disponible. Poco después de que saliese el artículo en el *Sunday Times* , el equipo consiguió apoyo independiente por parte del Wellcome Trust.

La Encuesta Nacional de Actitudes Sexuales y Estilos de Vida —o Natsal (por sus siglas en inglés)— se llevaría a cabo finalmente en 1990, y de

nuevo en 2000 y 2010. Según Kaye Wellings, que ayudó a desarrollar el estudio, estaba claro que los datos tendrían aplicaciones que irían más allá del análisis de las ETS. «Ya cuando estábamos redactando la propuesta, creo que nos dimos cuenta de que iba a responder a muchas preguntas de relevancia para la política de salud pública, para las que hasta ahora no había datos disponibles». En los últimos años, Natsal ha proporcionado información sobre numerosos problemas sociales, desde el control de natalidad hasta las rupturas matrimoniales.

Aun así, no era fácil conseguir que la gente hablase de sus vidas sexuales. Los entrevistadores tenían que convencer a la gente para que participase —a menudo enfatizando los beneficios sociales de la encuesta— y construir suficiente confianza para que contestasen honestamente. Y después estaba la cuestión de la terminología sexual. «Había un desajuste entre el lenguaje de salud pública y el lenguaje cotidiano, que estaba lleno de eufemismos», tal como señaló Wellings. Recordaba que varios participantes desconocían términos como *heterosexual* o *vaginal* . «Todos los términos de raíz latina o con más de tres sílabas eran considerados completamente raros y poco ortodoxos».

No obstante, el equipo de la Natsal tenía algunas ventajas, como la relativa baja frecuencia de los encuentros sexuales. El estudio Natsal más reciente descubrió que un veinteañero medio en el Reino Unido tenía sexo unas cinco veces al mes de media, con menos de una nueva pareja sexual al año. [184] Era incluso muy poco probable que los individuos más activos se acostasen con más de unas pocas docenas de personas en un año. Esto significa que la mayoría de los entrevistados sabrán con seguridad cuántas parejas han tenido y qué ha implicado cada relación. Compárese esto con el tipo de interacciones que podrían propagar la gripe, como las conversaciones o los apretones de manos. Cada día tenemos docenas de encuentros cara a cara de ese tipo.

Durante la pasada década, aproximadamente, los investigadores han intentado medir los contactos sociales relevantes para infecciones respiratorias como la gripe. El estudio mejor conocido es el POLYMOD, que preguntaba a unos siete mil participantes en ocho países europeos con quién interactuaban. Esto incluía contactos físicos, como apretones de manos, y conversaciones. Recientemente se han llevado a cabo estudios similares en otros países, desde Kenia a Hong Kong. Los estudios se están haciendo cada vez más ambiciosos: recientemente trabajé con

investigadores de la Universidad de Cambridge para llevar a cabo un proyecto de ciencia pública que reunía datos de cincuenta mil voluntarios en el Reino Unido. [185]

Gracias a estos estudios, ahora sabemos que ciertos aspectos del comportamiento son muy consistentes alrededor del mundo. La gente tiende a mezclarse con personas de la misma edad, y son los niños los que tienen, de lejos, el mayor número de contactos. [186] Las interacciones en las escuelas y en casa implican normalmente contacto físico, y los encuentros cotidianos a menudo duran más de una hora. Incluso teniendo esto en cuenta, el número total de interacciones puede variar mucho de un sitio a otro. Los residentes de Hong Kong normalmente tienen contacto físico con unas cinco personas al día; la cifra es similar en el Reino Unido, pero en Italia la media es de diez. [187]

Una cosa es medir ese comportamiento, pero ¿puede esta nueva información ayudar a predecir la forma de las epidemias? Al comienzo del libro vimos que durante la pandemia de gripe de 2009 hubo dos picos del brote en el Reino Unido: uno en primavera y otro en otoño. Para comprender qué causó este patrón, simplemente tenemos que fijarnos en las escuelas. En ellas, los niños se relacionan en un entorno intensamente social, creando una mezcla potencialmente ideal para las infecciones; durante las vacaciones escolares, los niños tienen, de media, alrededor de un 40 por ciento menos de contactos sociales diarios. Como se puede apreciar en la figura 18, el intervalo entre los dos picos de la pandemia de 2009 coincidió con las vacaciones escolares. Esta caída prolongada de los contactos sociales fue lo suficientemente pronunciada como para explicar la tregua veraniega de la pandemia. No obstante, las vacaciones escolares no pueden explicar completamente la segunda oleada de la infección. Aunque el primer pico se debió probablemente a cambios en el comportamiento social, el segundo pico fue en gran medida consecuencia de la inmunidad de rebaño, que evitó que continuase el contagio. [188] El crecimiento y la caída de las infecciones durante el periodo escolar y las vacaciones pueden influir también en otros trastornos sanitarios. En muchos países, los casos de asma aumentan al comienzo del periodo escolar. Estos brotes pueden también tener un efecto secundario en la comunidad, exacerbando el asma en adultos. [189]

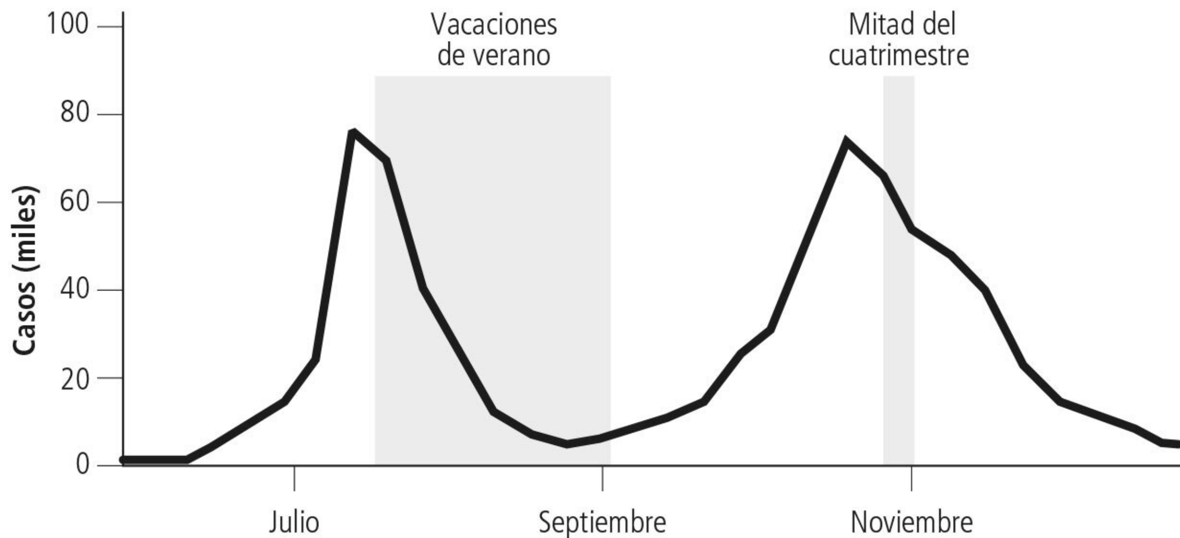


Figura 18. Dinámica de la pandemia de gripe de 2009 en el Reino Unido. Fuentes: Eames, K. T. D. et al., «Measured dynamic social contact patterns explain the spread of H1N1V influenza», *PLOS Computational Biology, 2012* ; Agencia de Protección de la Salud, *Epidemiological report of pandemic (H1N1) 2009* in the UK, Londres, 2010.

Si queremos predecir el riesgo de infección en una persona, no es suficiente medir cuántos contactos tiene. También necesitamos tener en cuenta los contactos de sus contactos, y los contactos de los contactos de estos últimos. Una persona que aparentemente tiene pocas interacciones podría estar solo a un par de pasos de un entorno de alta probabilidad de contagio, como una escuela. Hace unos pocos años, mis colegas y yo analizamos la relación entre contactos sociales e infecciones durante la pandemia de gripe de 2009 en Hong Kong. [190] Descubrimos que el alto número de contactos sociales entre niños fue lo que impulsó la pandemia, y que una vez que se superaba la infancia, caían tanto los contactos como las infecciones. Pero el riesgo aumentaba cuando se alcanzaba la edad de la paternidad. Como cualquier maestro o padre sabe, las interacciones con niños suponen un incremento del riesgo de infección. En los Estados Unidos, las personas sin niños en casa normalmente pasan solo unas pocas semanas al año infectadas por virus; las personas con un niño, una tercera parte del año; los que tienen dos niños, de media pasan más tiempo con virus que sin ellos. [191]

Además de fomentar los contagios dentro de las comunidades, las interacciones sociales pueden transportar las infecciones a otras localidades. En los estadios iniciales de la pandemia de gripe de 2009, el virus no se

propagó a distancias del tipo «hasta donde llegue el vuelo de un cuervo». El brote comenzó en México en marzo, y rápidamente alcanzó a países lejanos como China, pero tardó más en aparecer en países cercanos como Barbados. ¿La razón? Si definimos «cerca» y «lejos» en términos de situación en el mapa, estamos empleando la noción de distancia errónea. Las infecciones las propagan las personas, y hay más vuelos que unen México y China —como, por ejemplo, los que pasan por Londres— que los que conectan México con lugares como Barbados. China puede estar lejos para un cuervo, pero está relativamente cerca para un humano. Resulta que la propagación de la gripe en 2009 es mucho más fácil de explicar si definimos las distancias en términos de los flujos de pasajeros de aerolíneas. Y no solo la gripe: el SARS siguió rutas similares cuando surgió en China en 2003, llegando a países como la República de Irlanda y Canadá antes que a Tailandia y a Corea del Sur. [192]

No obstante, una vez que la pandemia de gripe de 2009 llegaba a un país, los viajes de larga distancia parecían ser menos importantes para el contagio. En los Estados Unidos, el virus se propagaba en ondas, viajando gradualmente desde el sudeste a otras regiones. Tardó tres meses en atravesar dos mil kilómetros en dirección este, lo que supone una velocidad de poco menos de un kilómetro por hora. De media, se lo podría haber dejado atrás andando. [193]

Aunque los vuelos de larga distancia son importantes para introducir los virus en nuevos países, los viajes dentro de los Estados Unidos son fundamentalmente locales. Lo mismo se puede decir de muchos otros países. [194] Para simular estos movimientos locales, los investigadores a menudo usan lo que se conoce como un «modelo de gravedad». La idea es que nos vemos atraídos hacia ciertos lugares dependiendo de lo cerca y lo poblados que estén, de la misma manera que los planetas mayores y más densos tienen una fuerza gravitacional mayor. Si vives en una aldea, es posible que visites un pueblo cercano más a menudo que una ciudad lejana; si vives en una ciudad, probablemente pases poco tiempo en los pueblos de alrededor.

Esto puede parecer una forma obvia de pensar en las interacciones y en los movimientos humanos, pero lo cierto es que históricamente no siempre se ha pensado así. A mediados de la década de 1840, en el pico de la burbuja británica de los ferrocarriles, los ingenieros asumían que la mayoría del tráfico se produciría en los viajes de larga distancia entre grandes

ciudades. Desgraciadamente, pocos se tomaron la molestia de cuestionar esta asunción. No obstante, es algo que sí se estudió en el continente. Para determinar cuánta gente viajaba realmente, el ingeniero belga Henri-Guillaume Desart diseñó el primer modelo de gravedad en 1846. Su análisis mostró que habría muchísima demanda de viajes locales, una idea que fue ignorada por los gestores de ferrocarriles al otro lado del canal. La red de ferrocarriles británica habría sido probablemente mucho más eficiente si no se hubiese pasado por alto ese estudio. [195]

Es fácil subestimar la importancia de los vínculos sociales. Cuando Ronald Ross y Hilda Hudson escribieron sus artículos sobre la teoría de los eventos a comienzos del siglo XX , sugirieron que su teoría se podría aplicar a cuestiones como los accidentes, el divorcio y las enfermedades crónicas. En sus mentes, estos eventos eran ocurrencias independientes: si algo le pasaba a alguien, no afectaba a la probabilidad de que le pasase a otra persona. No había un elemento de contagio de una persona a otra. A comienzos del siglo XXI , se empezó a cuestionar si esto era realmente así. En 2007, el físico Nicholas Christakis y el científico social James Fowler publicaron un artículo titulado «La propagación de la obesidad en una red social grande a lo largo de treinta y dos años». [196] Habían estudiado datos de salud de participantes en el ya veterano Estudio Framingham sobre el Corazón, en la ciudad de Framingham (Massachusetts). Además de sugerir que la obesidad podía propagarse entre amigos, sugirieron que se podía producir un efecto secundario más profundo en el seno de la red, con influencias que se extenderían potencialmente a amigos de amigos y a amigos de amigos de amigos.

Más adelante, ambos investigadores analizaron otros fenómenos que podrían verse afectados por el contagio social en el seno de la misma red, como el tabaquismo, la felicidad, el divorcio y la soledad. [197] Puede parecer raro que la soledad se propague a través de los contactos sociales, pero los investigadores estaban apuntando a un fenómeno que podría estar ocurriendo en los márgenes de una red de amistades. «En la periferia, la gente tiene menos amigos, lo que los hace estar solos, pero también los lleva a cortar los pocos vínculos que les quedan. Pero antes de hacerlo, tienden a transmitir la misma sensación de soledad a los amigos que les quedan, comenzando de nuevo el ciclo».

Estos artículos han sido enormemente influyentes. En la década posterior a su publicación, solo el estudio de la obesidad fue citado alrededor de

cuatro mil veces, y muchas de estas citas se referían a trabajos en los que se reconocía que esos rasgos se podían propagar. Pero también fue criticado. Poco después de que se publicasen los estudios sobre la obesidad y el tabaquismo, un artículo publicado en el *British Medical Journal* sugería que el análisis de Christakis y Fowler podía haber apuntado a efectos inexistentes. [198] A su vez, el matemático Russell Lyons escribió un artículo en el que argumentaba que los investigadores habían cometido «errores fundamentales» y que «sus afirmaciones principales no están fundamentadas». [199] ¿Quién tenía razón? ¿Realmente cosas como la obesidad se propagan? ¿Cómo podemos determinar si el comportamiento es contagioso?

Uno de los ejemplos más familiares de contagio social es el bostezo, y es también uno de los más sencillos de estudiar. Al ser muy común y fácil de detectar, y debido a que el lapso de tiempo entre el bostezo de una persona y el de otra es relativamente corto, los investigadores pueden analizar detalladamente la transmisión.

A través de experimentos de laboratorio, varios estudios han analizado qué es lo que hace que los bostezos se propaguen. La naturaleza de las relaciones sociales parece ser especialmente importante para la transmisión: cuanto más conocemos a alguien, más probable es que imitemos su bostezo. [200] El proceso de transmisión es también más rápido, con un retardo menor entre bostezos entre miembros de una familia que entre conocidos. Si se bosteza delante de un extraño, hay menos de un 10 por ciento de probabilidades de que se propague; si es enfrente de un familiar, lo hará más o menos la mitad de las veces. No son solo los humanos los que imitan los bostezos de individuos por los que sienten afecto. Los bostezos sociales también se dan entre animales, desde los monos hasta los lobos. [201] No obstante, puede costar un poco hacerse susceptible a un bostezo. Aunque los niños pequeños y los bebés bostezan algunas veces, no parece que se lo hayan transmitido sus padres. Los experimentos sugieren que el bostezo no se vuelve contagioso hasta que los niños alcanzan los cuatro años de edad. [202]

Además de los bostezos, los investigadores han estudiado la propagación de otros tipos de comportamiento a corto plazo, como sentir picores, reírse y tener reacciones emocionales. Estas respuestas sociales se pueden manifestar en un periodo de tiempo rápido: en experimentos centrados en

trabajo de grupo, los líderes podían propagar un estado de ánimo positivo o negativo en su equipo en cuestión de minutos. [203]

Si los investigadores quieren estudiar el bostezo o el estado de ánimo, pueden usar manipulaciones de laboratorio para controlar lo que ven los participantes y evitar distracciones que sesguen los resultados. Esto es factible para cosas que se propagan rápidamente, pero ¿qué ocurre con aquellos comportamientos e ideas que tardan más en propagarse entre toda una población? Es mucho más difícil estudiar el contagio social fuera de un laboratorio; y no solo cuando se investigan poblaciones humanas. Entre las aves, el carbonero común tiene una consolidada reputación de gran innovador. En la década de 1940, ecólogos británicos observaron que habían aprendido a picotear la lámina de aluminio en la boca de las botellas de leche para llegar a la nata. La táctica persistió durante décadas, pero no estaba claro cómo esa innovación se había propagado entre las poblaciones de esas aves. [204]

Aunque varios estudios han analizado la propagación del comportamiento animal en cautividad, replicar esos estudios en poblaciones salvajes ha sido difícil. Dada la reputación de innovadores de los carboneros comunes, la zoóloga Lucy Aplin y sus colegas se propusieron investigar cómo se propagaban entre ellos las innovaciones. El equipo se dirigió a Wytham Woods, cerca de Oxford, y montó una caja rompecabezas llena de gusanos de la harina. Si las aves querían llegar a la comida, tenían que mover una puerta corredera en una determinada dirección. Para ver cómo interactuaban las aves, los investigadores etiquetaron a casi todos los carboneros del área con dispositivos de seguimiento. «Podía obtener información en tiempo real sobre cómo y cuándo los individuos adquirían el conocimiento —dijo Aplin —. El que la recolección de datos estuviese automatizada permitía que el proceso siguiese su curso sin interferencias». [205]

Las aves se agrupaban en varias subpoblaciones diferentes; en cinco de ellas, los investigadores enseñaron a un par de aves cómo solucionar el rompecabezas. La técnica se propagó rápidamente: a los veinte días, tres de cada cuatro aves habían captado la idea. El equipo también estudió un grupo de control de aves que no habían sido entrenadas. Unas pocas se las apañaron para entrar en la caja, pero costó mucho más que surgiese la idea y que se propagase.

En muchas poblaciones entrenadas, la idea era también muy resistente. Muchas de las aves murieron con el paso de una estación a otra, pero el

conocimiento sobrevivió. Según Aplin, «el comportamiento resurgía muy rápidamente cada invierno. Incluso si solo quedaba un pequeño número de supervivientes del año anterior que conocían el comportamiento en cuestión». También percibió que la transmisión de información entre las aves tenía características comunes. «Algunos principios generales son similares a cómo se propagan las enfermedades en una población, por ejemplo, el hecho de que sean los individuos más sociables los que tengan una mayor probabilidad de encontrar y adoptar los nuevos comportamientos, y la existencia de individuos socialmente centrales que actúan como "piedras angulares" o "superpropagadores" en la difusión de la información».

El estudio también demostró que podían emerger normas sociales entre animales salvajes. Había realmente dos maneras de acceder al interior de la caja, pero la solución introducida por los investigadores se convirtió en el método aceptado. Esa conformidad es incluso más común cuando se trata de humanos. Tal como dijo Aplin, «somos especialistas en el aprendizaje social. El aprendizaje social y la cultura que observamos en las sociedades humanas son de una magnitud mayor que todo lo que podamos observar en el resto del reino animal».

A menudo compartimos características con personas que conocemos, desde la salud y los estilos de vida a las ideas políticas y la riqueza. En general, hay tres explicaciones posibles para estas similitudes. Una es el contagio social: quizás usted se comporta de una determinada manera porque sus amigos, con el tiempo, le han acabado influyendo. También puede ser al revés: han decidido ser amigos porque ya compartían ciertas características. Esto se conoce como «homofilia», la idea de que «las aves del mismo plumaje forman una bandada». Por supuesto, su comportamiento podría no tener que ver con sus conexiones sociales. Podría ser, simplemente, que ustedes comparten el mismo entorno, lo que influye en su comportamiento. El sociólogo Max Weber utilizó el ejemplo de un grupo de personas que abre el paraguas cuando empieza a llover. No están necesariamente reaccionando a lo que hacen los otros; están reaccionando a lo que cae de las nubes. [206]

Puede resultar complicado establecer cuál de las tres explicaciones —contagio social, homofilia o un entorno compartido— es la correcta. ¿Le gusta una determinada actividad porque les gusta a sus amigos, o son sus

amigos porque a ambos les gusta esa actividad? ¿Cambia sus planes porque así lo han hecho sus amigos, o los abandonan ambos porque está lloviendo? Los sociólogos lo denominan «el problema del reflejo», porque cada explicación puede ser el reflejo de otra. [207] Nuestras amistades y comportamientos a menudo están correlacionados, pero demostrar que el contagio es el responsable de ello puede ser difícil.

Lo que necesitamos es una forma de separar el contagio social de otras explicaciones posibles. La forma más clara de hacerlo sería provocar un brote y observar qué es lo que ocurre a continuación. Esto, en la práctica, quiere decir introducir un comportamiento específico, como hicieron Aplin y sus colegas con las aves, y medir cómo se propaga. Idealmente, compararíamos los resultados con un grupo de «control» seleccionado aleatoriamente —que no está expuesto a este brote— para ver el efecto que ha tenido el brote. Este tipo de experimento es común en medicina, donde se conoce como «experimento controlado aleatorizado».

¿Cómo funcionaría ese enfoque en humanos? Digamos que queremos llevar a cabo un experimento para estudiar la propagación del tabaquismo entre amigos. Una opción sería introducir el comportamiento en el que estamos interesados: escoger algunas personas aleatoriamente, conseguir que se hagan fumadoras y ver si el comportamiento se propaga a sus grupos de amigos. Aunque este experimento podría decirnos si se produce contagio social, plantea unos enormes problemas éticos. No podemos pedir a los participantes que adopten una actividad perjudicial como el tabaquismo con la esperanza de que eso nos ayude a comprender el comportamiento social.

En lugar de introducir el tabaquismo de manera aleatoria, podemos analizar cómo el tabaquismo ya existente se propaga a través de nuevas conexiones sociales. Pero esto significaría reordenar las amistades de manera aleatoria y ver si los individuos adoptan el comportamiento de sus nuevos amigos. De nuevo, esto generalmente no es factible: ¿quién querría remodelar todas sus redes de amistad por un proyecto de investigación?

En lo que respecta al diseño de experimentos sociales, el trabajo de Aplin sobre las aves tiene grandes ventajas sobre los estudios con humanos. Mientras que los humanos pueden mantener vínculos sociales similares durante años o décadas, las aves tienen una esperanza de vida relativamente corta, lo que significa que cada año se forman nuevas redes de interacción. Más aún, el equipo podía etiquetar a la mayor parte de las aves en el área de estudio, lo que posibilitaba seguir el comportamiento de la red en tiempo

real. Esto significaba que los investigadores podían introducir una nueva idea — la solución del rompecabezas— y observar cómo se propagaba a través de las redes recién formadas.

En algunas circunstancias, se forman nuevas amistades humanas de manera aleatoria y todas a un tiempo, por ejemplo, cuando unos reclutas son asignados a escuadrones militares o los estudiantes de una residencia universitaria. [208] Desgraciadamente para los investigadores, esos ejemplos son raros. En la mayor parte de casos reales, los científicos no pueden intervenir en el comportamiento o en las dinámicas de amistad para ver qué pasaría. En lugar de ello, deben intentar sacar conclusiones de lo que observan en la vida real. Tal como dijo Dean Eckles, un científico social del MIT, «aunque en muchas ocasiones las mejores estrategias implicarían aleatorización o alguna fuente plausible de aleatorización, para muchas de las cosas que nos preocupan de verdad como científicos sociales y como ciudadanos, no podemos aleatorizar». [209] «De manera que tenemos que hacer lo que podamos empleando datos observacionales».

Gran parte de la epidemiología se basa en datos observacionales: en general, los investigadores no pueden iniciar brotes deliberadamente o infectar a la gente con enfermedades graves para comprender cómo funcionan. Por consiguiente, algunos investigadores han sugerido que la epidemiología está más cerca del periodismo que de la ciencia, porque informa sobre situaciones que están ocurriendo en lugar de hacer experimentos. [210] Pero esas afirmaciones ignoran las enormes mejoras en la salud pública producidas como consecuencia de estudios observacionales.

Tómese por ejemplo el tabaquismo. En la década de 1950, los investigadores empezaron a analizar el masivo aumento de las muertes por cáncer de pulmón que se había producido en las décadas anteriores. [211] Parecía haber un vínculo claro con el consumo de cigarrillos: los fumadores tenían una probabilidad nueve veces mayor de morir de la enfermedad que los no fumadores. El problema era cómo mostrar que fumar realmente causaba cáncer. Ronald Fisher, un estadístico prominente (y fumador de pipa empedernido), argumentó que solo porque las dos cosas estuviesen correlacionadas no implicaba necesariamente que una causase la otra. Quizás los fumadores tenían estilos de vida muy diferentes de los no fumadores, y era una de esas diferencias, y no el tabaquismo, lo que causaba las muertes. O quizá algún rasgo genético —aún no identificado—

hacía que determinadas personas fueran más proclives a desarrollar cáncer de pulmón y a fumar. La cuestión dividía a la comunidad científica. Algunos, como Fisher, argumentaban que las pautas que unen el tabaquismo y el cáncer eran solo una coincidencia. Otros, como el epidemiólogo Austin Bradford Hill, pensaban que el tabaquismo era el responsable del aumento de las muertes.

Por supuesto, conducir un cierto tipo de experimento habría proporcionado una respuesta definitiva, pero como ya hemos visto, llevarlo a cabo habría sido poco ético. Así como los modernos científicos sociales no pueden hacer que la gente se ponga a fumar para ver si el hábito se propaga, los investigadores de la década de 1950 no podían pedir a la gente que fumase para descubrir si, como consecuencia de ello, desarrollaban cáncer. Para solucionar el dilema, los epidemiólogos tenían que encontrar la forma de determinar si una cosa causaba la otra sin llevar a cabo un experimento.

Ronald Ross pasó el mes de agosto de 1898 esperando a anunciar su descubrimiento de que los mosquitos transmitían la malaria. Mientras batallaba para conseguir el permiso del Gobierno para publicar su trabajo en una revista científica, temía que otros se abalanzasen sobre su investigación y se llevasen el mérito. En sus propias palabras, «los piratas están a las puertas listos para abordarme». [212]

El pirata al que más temía era un biólogo alemán llamado Robert Koch. Circulaban historias de que Koch había viajado a Italia para estudiar la malaria. Si se las apañaba para infectar a una persona con el parásito, podía hacer sombra al trabajo de Ross, que solo había usado aves. Unas pocas semanas más tarde, llegó el alivio en forma de una carta de Patrick Manson. «He oído que Koch ha fracasado con el mosquito en Italia —escribió Manson—, así que tiene usted tiempo de amarrar el descubrimiento para Inglaterra».

Finalmente, Koch sí publicaría una serie de estudios sobre la malaria, que reconocían completamente el trabajo de Ross. En particular, Koch sugirió que los niños en áreas infectadas de malaria actuaban como reservorios de infección, porque los adultos a menudo habían desarrollado inmunidad al parásito. La malaria era para Koch el último en una serie de nuevos patógenos. Durante las décadas de 1870 y 1880 había demostrado que las bacterias estaban detrás de enfermedades como el ántrax en el ganado y la

tuberculosis en los humanos. Además, había desarrollado un conjunto de reglas —o «postulados»— para identificar si un germen en particular era el responsable de una enfermedad. Para empezar, pensaba que siempre era posible encontrar el germen dentro de alguien que tuviese la enfermedad. Entonces, si un huésped saludable —como, por ejemplo, un animal de laboratorio— se veía expuesto al germen, desarrollaría la enfermedad. Finalmente, debería ser posible extraer una muestra del germen del nuevo huésped una vez que enfermase; este germen sería el mismo que aquel al que originalmente hubiese estado expuesto. [213]

Los postulados de Koch fueron útiles para la emergente ciencia de la «teoría de los gérmenes», pero pronto se dio cuenta de que tenían limitaciones. El mayor problema era que algunos patógenos no siempre causan enfermedades. Algunas veces, una persona puede infectarse pero no tener síntomas aparentes. Por ello, los investigadores necesitaban un conjunto más general de principios para descubrir qué es lo que puede haber detrás de una enfermedad.

La enfermedad que le interesaba a Austin Bradford Hill era el cáncer de pulmón. Para mostrar que el tabaquismo era el responsable, él y sus colaboradores reunieron distintos tipos de evidencia. Más adelante los resumiría en un conjunto de «enfoques» que esperaba que ayudasen a los investigadores a decidir si una cosa causaba otra. El primero de la lista era la fuerza de la correlación entre la causa propuesta y el efecto. Por ejemplo, era mucho más probable que los fumadores desarrollasen cáncer de pulmón que los no fumadores. Bradford Hill dijo que esta pauta debía ser consistente, debía aparecer en distintos sitios y en múltiples estudios. Después estaba el tiempo: ¿era la causa anterior al efecto? Otro indicador era si la enfermedad era específica de un cierto tipo de comportamiento (aunque esto no siempre resulta útil, porque los no fumadores también pueden desarrollar cáncer de pulmón). Idealmente, también se obtendría evidencia de un experimento: si la gente dejaba de fumar, su probabilidad de contraer el cáncer disminuiría.

En algunos casos, Bradford Hill dijo que era posible relacionar el nivel de exposición con el riesgo de contraer la enfermedad. Por ejemplo, cuantos más cigarrillos fume una persona, es más probable que muera como consecuencia de ello. Además, quizás se pudiese extraer una analogía con una causa y efecto similares, como, por ejemplo, otro producto químico que

cause cáncer. Finalmente, Bradford Hill sugirió analizar si la causa es biológicamente plausible y encaja en lo que los científicos ya conocen.

Bradford Hill enfatizó que estos enfoques no eran una lista para «probar» algo más allá de toda duda. Más bien, el objetivo era ayudar a responder una pregunta crucial: ¿hay alguna explicación mejor para lo que estamos viendo que afirmar que es sencillamente una relación de causa y efecto? Además de proporcionar evidencia de que fumar causaba cáncer, este tipo de métodos han ayudado a los investigadores a descubrir las causas de otras enfermedades. Durante las décadas de 1950 y 1960, la epidemióloga Alice Stewart reunió evidencia de que una pequeña dosis de radiación podía causar leucemia. [214] En esa época, la nueva tecnología de los rayos X se empleaba con regularidad en mujeres embarazadas; incluso las zapaterías tenían máquinas de rayos X, para que la gente pudiese ver sus pies dentro de los zapatos. Después de una larga batalla, Stewart consiguió que esas amenazas fueran retiradas. Más recientemente, investigadores de los CDC utilizaron los «enfoques» de Bradford Hill para argumentar que las infecciones de zika causaban defectos congénitos. [215]

Establecer causas y efectos de ese tipo es inherentemente difícil. A menudo, la investigación centrada en estas materias desencadena un intenso debate acerca de qué es responsable de qué y qué debe hacerse al respecto. Aun así, Stewart creía que, enfrentados a una evidencia problemática, deberíamos actuar a pesar de la incertidumbre. Tal como dijo una vez: «El truco es hacer la mejor conjetura sobre el espesor del hielo cuando cruzas un lago. El arte es hacer el juicio correcto de cuánto pesa la evidencia, sabiendo que tu juicio está sujeto a cambio bajo la presión de nuevas observaciones». [216]

Cuando Christakis y Fowler se propusieron estudiar el contagio social, decidieron inicialmente empezar de cero. La idea era reclutar a un millar de personas, hacer que cada una de ellas nombrase cinco contactos y después hacer que cada uno de sus contactos nombrase a otros cinco contactos. En total, habrían tenido que seguir con todo detalle el comportamiento de 31.000 personas durante muchos años. Un estudio de esa magnitud habría costado alrededor de treinta millones de dólares. [217]

Mientras exploraban otras opciones, contactaron con el equipo que dirigía el Estudio Framingham sobre el Corazón, pensando que sería más sencillo reclutar a esas mil personas iniciales a partir de un proyecto ya existente.

Cuando Christakis visitó a Marian Bellwood, la coordinadora del proyecto, esta le mencionó que conservaban formularios en el sótano con detalles de cada participante. Para no perder contacto con los participantes, habían pedido a cada uno de ellos que añadiese en los formularios una lista de sus familiares, amigos y compañeros de trabajo. Resultó que muchos de esos contactos también estaban incluidos en el estudio, lo que significaba que la información sobre su salud también estaba registrada.

Christakis estaba atónito. En lugar de reclutar un grupo completamente nuevo de contactos sociales, podía simplemente reconstruir la red social entre los participantes en el Estudio Framingham. «Llamé a James desde el aparcamiento y le dije: "No te lo vas a creer"», recordó más tarde. Solo había un problema: tendría que repasar doce mil nombres y cincuenta mil direcciones para identificar los vínculos existentes. «Teníamos que descifrar la escritura de cada uno de los participantes —dijo Christakis—. Nos llevó dos años digitalizarlo».

Su intención inicial era analizar la propagación del tabaquismo, pero decidieron que la obesidad era un punto de partida mejor. El tabaquismo dependía de lo que declarasen los participantes, mientras que la obesidad podía ser observada directamente. «Debido a que estábamos haciendo algo tan novedoso, queríamos empezar con algo que pudiese ser medido objetivamente», dijo Christakis.

El siguiente paso era estimar si la obesidad se transmitía a través de la red. Esto significaba enfrentarse al problema del reflejo, de separar el contagio potencial de la homofilia o de factores medioambientales. Para descartar el efecto «aves del mismo plumaje» de la homofilia, los investigadores incluyeron un retardo en el análisis; si la obesidad realmente se propagaba de una persona a su amigo, el amigo no tendría que ser previamente obeso. Los efectos medioambientales eran más difíciles de excluir, pero Christakis y Fowler intentaron enfrentarse a esta cuestión observando cuál era la dirección de la amistad. Supongamos que le incluyo a usted en mi lista de amigos en una encuesta, pero usted no me incluye en la suya. Esto sugiere que estoy más influido por usted de lo que usted lo está por mí. No obstante, si en realidad ambos estamos influidos por algún factor medioambiental compartido —como un nuevo restaurante de comida rápida— la dirección de nuestra amistad no debería afectar a quién se vuelve obeso. Christakis y Fowler encontraron evidencia de que sí que afectaba, lo que sugería que la obesidad podía ser contagiosa.

Tal como se ha mencionado, cuando el análisis se publicó recibió fuertes críticas por parte de algunos investigadores. La primera era que la evidencia estadística podía haber sido más robusta: el resultado según el cual la obesidad era contagiosa era menos concluyente de lo que se requeriría, por ejemplo, para el caso de un ensayo clínico sobre la efectividad de un nuevo medicamento. La segunda crítica era que, dados los métodos y los datos empleados por Christakis y Fowler, no podían excluir concluyentemente otras explicaciones. En teoría, era posible imaginarse una situación que implicase al mismo tiempo homofilia e influencia medioambiental que hubiese generado el mismo patrón.

En mi opinión, son críticas razonables. Pero eso no significa que esos estudios no fuesen útiles. Comentando el debate sobre los artículos iniciales de Christakis y Fowler, el estadístico Tom Snijders sugirió que tenían limitaciones, pero aun así eran importantes, porque los investigadores habían encontrado una forma innovadora de poner el contagio social en la agenda científica. «Bravo por la imaginación y la valentía de Nick Christakis y James Fowler». [218]

En las décadas posteriores a la publicación del análisis inicial de Christakis y Fowler de los datos del Framingham, se acumularon nuevas evidencias de la idea de contagio social. Otros grupos de investigación han mostrado que fenómenos como la obesidad, el tabaquismo y la felicidad pueden ser contagiosos. Como hemos visto, es notablemente difícil estudiar el contagio social, pero ahora tenemos una comprensión mucho mejor de qué es lo que se puede propagar.

El paso siguiente será avanzar más allá de la simple afirmación de que el contagio existe. Mostrar que el contagio puede arraigar es equivalente a mostrar que el número de reproducción es mayor que 0: de media, habrá alguna transmisión, pero no sabemos cuánta. Por supuesto, esto es una información útil, porque muestra que el contagio es un factor que tenemos que tener en cuenta. Nos dice que el comportamiento se puede propagar, aunque no podamos predecir la magnitud del brote. No obstante, si los Gobiernos y otras organizaciones quieren enfrentarse a cuestiones de salud que sean contagiosas, necesitarán saber más sobre la magnitud real del contagio social, y qué impacto tienen diferentes políticas. Si una persona en un grupo de amigos se vuelve obesa, ¿exactamente cuánta influencia tendrá sobre los otros? Si eres más feliz, ¿en cuánto aumentará la felicidad de tu comunidad? Christakis y Fowler han reconocido que estimar la medida

exacta del contagio social es algo complejo. Además, resolver esas cuestiones a menudo significa utilizar métodos y datos imperfectos. Pero a medida que empiezan a estar disponibles nuevas bases de datos, otros investigadores podrán mejorar sus análisis, avanzando hacia medidas más precisas de los contagios.

Al estudiar el comportamiento potencialmente contagioso, los investigadores también están descubriendo algunas diferencias cruciales entre los brotes biológicos y los sociales. En la década de 1970, el sociólogo Mark Granovetter sugirió que la información podría propagarse más a través de los conocidos que de los amigos íntimos. Esto se debía a que los amigos a menudo tienen muchos vínculos en común, haciendo que la mayor parte de la transmisión sea redundante. «Si uno cuenta un rumor a todos sus amigos más íntimos, y estos hacen lo mismo, muchos oirán el rumor por segunda o tercera vez, dado que aquellos que están unidos por vínculos fuertes tienden a compartir amigos». Se refirió a la importancia de los conocidos como la «fuerza de los vínculos débiles»: si quieres acceder a nueva información, es más probable que la adquieras a través de un contacto casual más que a través de amigos íntimos. [219]

Estos vínculos lejanos se han convertido en un elemento central de la ciencia de las redes. Como hemos visto, las conexiones de mundos pequeños pueden ayudar a que el contagio biológico y financiero salte de una parte a otra de una red. En algunos casos, los vínculos también pueden salvar vidas. Hay una antigua paradoja en medicina: aquellos que sufren un ataque al corazón o un ictus cuando están rodeados de familiares tardarán más en recibir ayuda médica. Esto podría ser perfectamente el resultado de la estructura de las redes sociales. La evidencia muestra que los grupos muy estrechos de familiares tienden a preferir un enfoque de «esperar a ver» tras un ataque suave, y nadie estará dispuesto a contradecir la opinión dominante. Por el contrario, los «vínculos débiles» —como los existentes entre compañeros de trabajo o no familiares— pueden proporcionar un conjunto de perspectivas más diverso, llevando a que la gente identifique los síntomas más rápidamente y pida antes ayuda. [220]

Aun así, el tipo de estructura de red que amplifica la transmisión de enfermedades no siempre tendrá el mismo efecto sobre el contagio social. El sociólogo Damon Centola apunta al ejemplo del VIH, que se ha propagado ampliamente a través de las redes de parejas sexuales. Si el contagio social y el biológico funcionasen de la misma manera, las ideas

sobre la prevención de la enfermedad se habrían propagado ampliamente a través de las mismas redes. Y lo cierto es que no ha sido así. Algo debe estar ralentizando la propagación de la información.

Durante un brote de una enfermedad infecciosa, la infección normalmente se propaga a través de una serie de encuentros aislados. Si usted se contagia, normalmente habrá sido a través de una persona específica. [221] Las cosas no son siempre tan sencillas en el caso del comportamiento social. Podríamos empezar a hacer algo solamente después de que hayamos visto a una multitud de otras personas haciéndolo también, en cuyo caso no hay una única ruta clara de transmisión. Estos comportamientos se conocen como «contagios complejos», porque la transmisión requiere múltiples exposiciones. Por ejemplo, Christakis y Fowler señalaron en su análisis del tabaquismo que era más probable que la gente lo dejase si muchos de sus contactos también lo hacían. Los investigadores han identificado contagios complejos en comportamientos que van desde el ejercicio y los hábitos de salud a la adopción de innovaciones y el activismo político. Mientras que patógenos como el VIH pueden propagarse a través de un único contagio, los contagios complejos necesitan múltiples individuos para transmitirse, de manera que no pueden contagiarse a través de vínculos únicos. Aunque las redes de mundos pequeños podrían ayudar a la propagación de enfermedades, esas mismas redes podrían limitar la transmisión de contagios complejos.

¿Por qué se producen los contagios complejos? Damon Centola y su colega Michael Macy han propuesto cuatro procesos que podrían explicarlo. En primer lugar, podría resultar beneficioso unirse a algo en lo que ya hay gente participando. Desde las redes sociales a las protestas, las nuevas ideas siempre resultan más atractivas si otras personas ya las han adoptado. En segundo lugar, las exposiciones múltiples a nuevas ideas pueden generar credibilidad: es más probable creer en algo si se ve confirmado a partir de fuentes diversas. En tercer lugar, las ideas pueden depender de la legitimidad social: saber de algo no es lo mismo que ver que otras personas están llevándolo a la práctica —o rechazándolo—. Tomemos por ejemplo las alarmas contra incendios. Además de señalar un posible incendio, las alarmas hacen que sea aceptable para todo el mundo abandonar un edificio. Un experimento clásico de 1968 hacía que unos estudiantes trabajasen en una habitación que lentamente se iba llenando de humo falso. [222] Si hubiesen estado solos, lo normal es que hubiesen

reaccionado, pero al estar con un grupo de actores que fingían estudiar, continuaban trabajando, esperando a que otra persona reaccionase. Finalmente, está el proceso de amplificación emocional. Es más probable que se adopten ideas o comportamientos nuevos debido a la intensidad emocional que se experimenta en el seno de una reunión social: piénsese en la emoción colectiva que se siente en eventos como bodas o conciertos.

La existencia de contagios complejos significa que podríamos tener que reevaluar nuestras ideas acerca de qué es lo que hace que se propague una innovación. Centola ha sugerido que los enfoques intuitivos para conseguir que las cosas cuajen podrían no funcionar muy bien si la gente necesita múltiples impulsos para adoptar una idea. Para conseguir que una innovación se propague en el mundo de los negocios, por ejemplo, no es suficiente con fomentar más interacciones en el seno de una organización. Para que los contagios complejos se propaguen, las interacciones deben ser agrupadas de manera que permitan un refuerzo social de las ideas; es más probable que alguien adopte un nuevo comportamiento si ve que todo el mundo en su equipo lo ha adoptado. No obstante, las organizaciones no pueden centrarse mucho en grupitos, o de lo contrario las nuevas ideas no se propagarán más allá de un pequeño número de personas. Tiene que haber un equilibrio en la red de interacciones: además de tener equipos locales que actúen como incubadoras de ideas, hay que favorecer solapamientos entre grupos, al estilo Pixar, para permitir que las innovaciones alcancen una audiencia más amplia. [223]

La ciencia del contagio social ha avanzado mucho en la pasada década, pero queda mucho por descubrir, entre otras cosas porque establecer si algo es contagioso es a menudo difícil. En muchos casos, no podemos cambiar deliberadamente el comportamiento humano, así que tenemos que basarnos en datos observacionales, tal como hicieron Christakis y Fowler con el Estudio Framingham. No obstante, está surgiendo otro enfoque alternativo. Los investigadores están recurriendo crecientemente a «experimentos naturales» para examinar el contagio social. [224] En lugar de imponer un cambio de comportamiento, esperan a que la naturaleza lo haga por ellos. Por ejemplo, una persona que sale a correr en Oregón podría cambiar su rutina cuando hace mal tiempo; si su amigo en California también cambia su comportamiento, esto sugeriría que el responsable es el contagio social. Cuando un equipo de investigadores del MIT analizaban datos de rastreadores digitales de aptitud física, que incluían a usuarios vinculados

unos con otros a través de redes sociales, descubrieron que el clima sí que podía revelar pautas de contagio. Aun así, algunos eran más proclives que otros a pillar el virus del ejercicio. A lo largo de un periodo de cinco años, el comportamiento de los corredores menos activos tendía a influir en el de los más activos, pero no al revés. Esto implica que los corredores más entusiastas no quieren ser superados por sus amigos menos dinámicos.

Los incentivos al comportamiento, tales como los cambios climatológicos, son una herramienta útil para estudiar el contagio, pero tienen sus limitaciones. Un día lluvioso podría modificar la decisión de alguien de salir a correr, pero es poco probable que afecte a otros comportamientos más fundamentales, como la elección de esposo o las opiniones políticas. Dean Eckles señaló que pueden existir fuertes diferencias entre lo que es fácil de cambiar y lo que nos gustaría estudiar. Como me dijo él mismo, «no es tan fácil crear incentivos para que la gente siga muchos de los comportamientos que más nos preocupan».

En noviembre de 2008, los californianos votaron para prohibir el matrimonio homosexual. El resultado fue completamente inesperado para todos aquellos que habían hecho campaña a favor de la medida, especialmente porque las encuestas preelectorales parecían ir en esa dirección. Pronto aparecieron explicaciones y excusas. Dave Fleischer, director del Centro LGTB de Los Ángeles, observó que se habían popularizado varios malentendidos sobre los resultados del referéndum. Uno era que la gente que votó a favor de la prohibición debía odiar a la comunidad LGTB. Fleischer no compartía esa idea. «El diccionario define *odio* como “aversión u hostilidad extremas” —escribió tras la votación—. Esto no describe a la mayoría de los que votaron en nuestra contra». [225]

Para descubrir por qué tantas personas estaban en contra del matrimonio homosexual, el Centro LGTB se dedicó en los años siguientes a realizar miles de entrevistas cara a cara. Los entrevistadores empleaban la mayor parte del tiempo en escuchar a los votantes, un método conocido como «entrevista en profundidad». [226] Animaban a que los entrevistados hablasen sobre su vida, y a que reflexionasen sobre sus propias experiencias con los prejuicios. A medida que llevaba a cabo las entrevistas, el Centro LGTB se dio cuenta de que las entrevistas en profundidad no solo estaban proporcionando información; parecían estar cambiando las actitudes de los

votantes. Si era así, se trataba de un poderoso método para las campañas políticas. Pero ¿era realmente tan efectivo como parecía?

Si la gente es racional, deberíamos esperar que actualicen sus creencias cuando se enfrentan a nueva información. En la investigación científica esto se conoce como «razonamiento bayesiano». Denominado así por el estadístico del siglo XVIII Thomas Bayes, la idea es tratar el conocimiento como una creencia sobre la que tenemos un cierto nivel de confianza. Por ejemplo, supongamos que estamos considerando seriamente casarnos con alguien, después de haber reflexionado acerca de nuestra relación. En estas circunstancias, se necesitaría una muy buena razón para cambiar de opinión. No obstante, si no estás totalmente seguro sobre la relación, podrías convencerte más fácilmente de que el matrimonio no es una buena idea. Algo que podría parecer trivial para alguien que esté enamorado puede ser suficiente para inclinar la balanza hacia una ruptura para alguien que esté dudando. La misma lógica se aplica a otras situaciones. Si su punto de partida es una creencia firme, normalmente usted necesitará una clara evidencia para cambiar de opinión. Sus creencias después de estar expuesto a una nueva información dependen, por tanto, de dos cosas: la fortaleza de sus creencias iniciales y la fortaleza de la nueva evidencia. [227] Esto está en el centro mismo del razonamiento bayesiano —y en buena parte de la moderna estadística—.

Y, no obstante, hay cierta evidencia de que la gente no asimila la información de esta manera, especialmente si esa información va en contra de sus creencias. En 2008, los científicos políticos Brendan Nyhan y Jason Reifler propusieron la idea de que la persuasión podía sufrir de un «efecto contraproducente». Proporcionaron a un grupo de personas una información que entraba en conflicto con su ideología política, como la ausencia de armas de destrucción masiva en Irak antes de la guerra de 2003, o la caída de los ingresos públicos después de los recortes de impuestos del presidente Bush. Pero no parece que muchos de ellos se dejasen convencer. Lo que es peor, algunos parecían estar más convencidos de sus creencias después de ver la nueva información. [228] Otros estudios en psicología han mostrado resultados similares. Esos estudios intentaban persuadir a los participantes de algo, pero al final estos acababan creyendo otra cosa distinta. [229]

El que el efecto contraproducente sea algo tan común no casa muy bien con la idea de que las entrevistas convencerán a la gente para que cambie de opinión sobre cuestiones como el matrimonio homosexual. El Centro

LGTB de Los Ángeles pensaba que había descubierto un método que funcionaba, pero necesitaba evaluarlo adecuadamente. A comienzos de 2013, Dave Fleischer almorzó con Donald Green, un científico político de la Universidad de Columbia. Green le presentó a Fleischer a Michael LaCour, un estudiante de la UCLA, que aceptó llevar a cabo un estudio científico sobre la efectividad de las entrevistas en profundidad. El objetivo era realizar un experimento aleatorizado controlado. Después de reclutar a votantes para participar en una serie de encuestas, LaCour los dividió de manera aleatoria. Algunos serían visitados por un entrevistador; otros, el grupo de control, tendrían conversaciones sobre el reciclaje.

Lo que ocurrió a continuación fue muy relevador acerca de cómo cambian las creencias, aunque no en la forma que habríamos esperado. Todo empezó cuando LaCour empezó a informar de algunos descubrimientos sorprendentes. Su experimento había mostrado que cuando los entrevistadores empleaban el método de la entrevista en profundidad, se producía, de media, un enorme incremento del apoyo de los entrevistados al matrimonio homosexual. Aún mejor, la idea en muchas ocasiones cuajaba, y la nueva creencia se mantenía meses después. Esta creencia era además contagiosa, propagándose a las personas con las que vivían los entrevistados. LaCour y Green publicaron los resultados en la revista *Science* en diciembre de 2014, con lo que atrajeron una amplia atención por parte de los medios de comunicación. Parecía ser una investigación impresionante, que mostraba cómo una acción pequeña podía tener una influencia masiva. [230]

Y entonces, una pareja de estudiantes de grado de la Universidad de Berkeley se dio cuenta de que había algo extraño en esa investigación. David Broockman y Joshua Kalla querían hacer su propio estudio, basándose en el impresionante análisis de LaCour. «Sin duda, el artículo más importante del año», le dijo Broockman a un periodista después de que se publicase el artículo en *Science* . Pero cuando vieron la base de datos de LaCour, todo parecía demasiado impoluto, casi como si alguien hubiese simulado los datos en lugar de recopilarlos. [231] En mayo de 2015, contactaron con Green para expresarle sus inquietudes. Cuando le preguntaron, LaCour negó haber fabricado los datos, pero no pudo proporcionar los ficheros originales. Unos pocos días después, Green —que dijo que no conocía el problema hasta ese momento— pidió a *Science* que retirase el artículo. No estaba claro exactamente qué es lo que había pasado,

pero sí lo estaba que LaCour no había llevado a cabo el estudio que decía haber realizado. El escándalo supuso una gran decepción para el Centro LGTB de Los Ángeles. «Sentimos como si nos hubiesen dado un golpe bajo», dijo Laura Gardiner, una de las organizadoras, después de que el problema saliese a la luz. [232]

Los medios rápidamente corrigieron los artículos que habían sacado sobre el tema, pero quizás los periodistas —y la revista científica— deberían haber sido más escépticos desde un principio. «Lo que me resulta interesante es esa repetida insistencia en lo inesperado y sin precedentes que era ese resultado», escribió el estadístico Andrew Gelman después de que el artículo fuese retirado. Gelman señaló que esto pasa mucho en psicología. «La gente dice al mismo tiempo que un resultado es completamente sorprendente y que tiene mucho sentido». [233] Aunque el efecto contraproducente ha sido profusamente citado como un gran obstáculo a la persuasión, he aquí un estudio que afirma que puede ser eliminado por medio de una conversación corta.

Los medios tienen un enorme apetito por las ideas concisas y contraintuitivas. Esto hace que los investigadores estén deseando dar publicidad a resultados que muestran cómo «una idea simple» puede explicarlo todo. En algunos casos, el deseo de alcanzar unas conclusiones sorprendentes, a la par que simples, puede llevar a supuestos expertos a contradecir a sus propias fuentes de conocimiento. Antonio García Martínez, que pasó dos años trabajando en el equipo de anuncios de Facebook, recordó una situación de ese tipo en su libro *Chaos Monkeys* (Monos caóticos). Martínez cuenta la historia de un alto cargo de la empresa que se había construido una reputación como autor de ideas sucintas y memorables sobre la influencia social. Desgraciadamente para él, sus ideas fueron desechadas por el equipo de análisis de datos de la propia compañía, cuyos análisis rigurosos mostraban resultados algo distintos.

En el mundo real es muy difícil encontrar leyes simples que se apliquen a todas las situaciones. Si tenemos una hipótesis prometedora, necesitamos encontrar contraejemplos que no la corroboren. Necesitamos descubrir cuáles son sus límites y qué excepciones puede haber, porque incluso las teorías más publicitadas podrían ser menos concluyentes de lo que parecen. Tomemos por ejemplo el efecto contraproducente. Después de leer sobre ello, Thomas Wood y Ethan Porter, dos estudiantes de grado de la Universidad de Chicago, se propusieron analizar hasta qué punto era algo

común. En su opinión, «si ese efecto se observase en toda la población, las implicaciones para la democracia serían dramáticas». [234] Mientras que Nyhan y Reifler se habían centrado en tres concepciones erróneas, Wood y Porter comprobaron treinta y seis creencias en una muestra de ochenta y un participantes. Descubrieron que, aunque podía ser difícil convencer a la gente de que estaban equivocados, un intento de corrección no necesariamente hacía que sus creencias iniciales se reforzasen. De hecho, solamente una corrección tuvo un efecto contraproducente en el estudio: la afirmación falsa sobre las armas de destrucción masiva en Irak. Concluyeron que «en líneas generales, los ciudadanos prestan atención a la información sobre los hechos, incluso aunque esa información contradiga sus compromisos partidistas e ideológicos».

Incluso en su estudio original, Nyhan y Reifler descubrieron que el efecto contraproducente no se producía siempre. Durante la campaña presidencial de 2004, los demócratas afirmaron que George Bush había prohibido la investigación con células madre, mientras que lo cierto es que lo que había hecho era limitar la financiación de ciertos aspectos relacionados con esa investigación. [235] Cuando Nyhan y Reifler corrigieron esa creencia a los participantes liberales, la información fue a menudo ignorada, pero no resultó contraproducente. Tal como afirmó Nyhan más adelante: «El efecto contraproducente recibió tanta atención porque era muy sorprendente. Afortunadamente, parecía ser muy raro». [236] Nyhan, Reifler, Wood y Porter desde entonces se han dedicado a analizar la cuestión con mayor profundidad. Por ejemplo, en 2019 descubrieron que proporcionar comprobaciones de los hechos durante los discursos electorales de Donald Trump había cambiado las creencias de la gente sobre cuestiones específicas, pero no su opinión global sobre el candidato. [237] Parece que algunos aspectos de las creencias políticas de la gente son más difíciles de cambiar que otros. En opinión de Nyhan, «tenemos mucho más que aprender».

Cuando se examinan creencias, tenemos también que ser cuidadosos sobre qué queremos decir cuando afirmamos que algo es contraproducente. Nyhan notó que se suele confundir el efecto contraproducente con una anomalía psicológica relacionada conocida como «sesgo de confirmación». [238] Este sesgo se da cuando examinamos de manera mucho más crítica los argumentos que contradicen nuestras creencias que aquellos que las confirman. Mientras que el efecto contraproducente implica que la gente

ignora los argumentos opuestos y refuerza sus creencias existentes, el sesgo de confirmación simplemente significa que tiende a ser escéptica hacia argumentos que considera débiles.

La diferencia puede parecer sutil, pero es crucial. Si el efecto contraproducente es el más común, esto implicaría que no podemos persuadir a personas con posturas contrarias para que cambien de opinión. No importa lo convincentes que sean nuestros argumentos, otras personas simplemente se refugiarán aún más en sus creencias. El debate se hace imposible y la evidencia es inútil. Por el contrario, si la gente sufre de sesgo de confirmación, eso significa que sus opiniones pueden cambiar, si se ofrecen argumentos suficientemente convincentes. Esto crea unas posibilidades mucho más prometedoras. La persuasión puede seguir siendo difícil, pero vale la pena intentarlo.

En gran medida, todo depende de cómo estructuremos y presentemos nuestros argumentos. En 2013, el Reino Unido legalizó el matrimonio homosexual. John Randall, entonces un miembro conservador del Parlamento, votó contra el proyecto de ley, una decisión que más tarde manifestó haber lamentado. Deseaba haber hablado antes con un amigo suyo en el Parlamento, alguien que —para sorpresa de muchos— había votado a favor. «Me dijo que era algo que a él no le afectaba pero que haría a mucha gente feliz —recordó Randall en 2017—. Es un argumento al que es difícil encontrarle alguna pega». [239]

Desgraciadamente, hay un gran obstáculo para la persuasión. Si tenemos una opinión muy fuerte, el razonamiento bayesiano implica que nos costará distinguir los efectos de argumentos que apoyen esa opinión. Supongamos que usted cree fuertemente en algo. Puede ser cualquier cosa, desde una posición política hasta una opinión sobre una película. Si alguien le presenta una evidencia que es consistente con sus creencias —con independencia de si la evidencia es convincente o débil— usted seguirá aferrado a esas creencias. Pero ahora imaginemos que alguien presenta un argumento contra sus creencias. Si el argumento es débil, no cambiará de opinión, pero si es a prueba de bombas, podría estar dispuesto a hacerlo. Desde un punto de vista bayesiano, somos generalmente mejores al juzgar los efectos de argumentos con los que estamos en desacuerdo. [240]

Y eso si somos capaces de pensar en argumentos distintos. Hace unos pocos años, los psicólogos sociales Matthew Feinberg y Robb Willer le pidieron a un grupo de personas que presentasen argumentos para persuadir

a alguien con una opinión política opuesta. Descubrieron que muchos de ellos usaban argumentos concordes con sus propias posturas morales, más que con las de las personas a las que intentaban persuadir. Los liberales intentaban apelar a valores como la igualdad y la justicia social, mientras que los conservadores basaban sus argumentos en cuestiones como la lealtad y el respeto a la autoridad. Argumentar sobre un terreno familiar pudo haber sido una estrategia común, pero no era una estrategia efectiva: la gente era mucho más convincente cuando envolvía sus argumentos en los valores morales de su oponente. Esto sugiere que si se quiere persuadir a un conservador, será mejor centrarse en ideas como el patriotismo y la comunidad, mientras que un liberal se convencerá más con mensajes que promuevan la justicia social. [241]

Incluso si usted consigue identificar un argumento efectivo para sustentar su posición, hay otras cosas que puede hacer para mejorar sus posibilidades de persuasión. En primer lugar, cómo ofrece sus argumentos puede ser importante. La evidencia demuestra que es mucho más probable que se complete una encuesta si se pide en persona en lugar de por correo electrónico, por ejemplo. [242] Otros experimentos han alcanzado conclusiones similares: es más convincente la comunicación cara a cara que por teléfono, correo u *online* . [243]

El momento concreto en que se den los mensajes también puede tener su impacto. Según Briony Swire-Thompson, una psicóloga de la Universidad del Nordeste, la investigación se está centrando crecientemente en cómo las ideas pierden fuerza gradualmente. «Se trata del concepto de que una vez que has cambiado la opinión de alguien, ese cambio no se consolida», me dijo. [244] En 2017, realizó un estudio en el que preguntaba a los participantes si creían en mitos tales como que las zanahorias mejoraban la vista o que los embusteros movían sus ojos en una cierta dirección. [245] El estudio descubrió que podían corregir creencias falsas, pero que el efecto no era necesariamente duradero. En opinión de Briony Swire-Thompson, «si se corrige tu creencia errónea, podrías cambiar esa creencia inicialmente, pero con el tiempo volverás a ella». Parece que la repetición importa: las nuevas creencias sobreviven más si a la gente se le recuerda la verdad varias veces, en lugar de solo una.

Pensar en las posiciones morales de los otros. Tener interacciones cara a cara. Encontrar formas de favorecer el cambio a largo plazo. Todas estas cosas pueden mejorar la persuasión. Y resulta que todas ellas forman parte

del enfoque de las entrevistas en profundidad defendido por el Centro LGTB de Los Ángeles. Lo que nos lleva de nuevo a ese dudoso artículo de LaCour y Green. Aunque el estudio fue retirado en 2015, la historia no termina ahí. Al año siguiente, David Broockman y Joshua Kalla —los dos investigadores de Berkeley que habían encontrado el problema en el artículo original— publicaron un nuevo estudio. [246] Este se centraba en derechos transgénero. Y esta vez sí que recopilaron los datos.

Comparando las entrevistas en profundidad con los resultados de un grupo de control, descubrieron que una conversación de diez minutos sobre derechos de las personas transgénero podía reducir significativamente el prejuicio. No importaba que el entrevistador fuese transgénero o no, el cambio en la opinión de los votantes persistía. El cambio en las creencias también parecía ser resistente a los ataques. Después de unas pocas semanas, los investigadores mostraron a los participantes anuncios antitransgénero de campañas políticas recientes. Los anuncios inicialmente provocaron una reversión a posiciones contra las personas transgénero, pero ese efecto pronto se desvaneció.

Para asegurar que la investigación fuese completamente transparente, Broockman y Kalla publicaron todos los datos y los códigos del análisis, proporcionando un epílogo optimista para lo que habían sido unos años un tanto engorrosos para la comunidad científica. Con el enfoque adecuado, era posible cambiar unas actitudes que muchos habían pensado que estaban fuertemente enraizadas. Los puntos de vista no se propagan necesariamente de la forma que suponemos, ni la gente es tan rígida como pensamos. Cuando nos enfrentamos a una aparente hostilidad, se puede ganar mucho intentando cosas nuevas.

---

[172] Información: Shifman, M., *ITEP Lectures on Particle Physics and Field Theory* , arXiv, 1995.

[173] Paris, A. J., *Robert Oppenheimer: A Life* , Oxford: Oxford University Press, 2007.

[174] Goffman, W. y V. A. Newill, «Generalization of epidemic theory: an application to the transmission of ideas», *Nature* , 1964. La analogía de Goffman tiene algunos límites, no obstante. En particular, afirmó que el modelo SIR podría ser apropiado para la expansión de rumores, pero otros investigadores han argumentado que simples retoques al modelo podrían generar resultados muy diferentes. Por ejemplo, en un modelo epidémico simple, asumimos normalmente que la gente deja de ser contagiosa después de un periodo de tiempo, lo cual es razonable para muchas enfermedades. Daryl Daley y David Kendall, dos matemáticos de Cambridge, han propuesto que en un modelo de rumores los propagadores no necesariamente se recuperan de manera natural;

podrían parar únicamente cuando se encuentren a alguien que ya ha escuchado el rumor. Fuente: Daley, D. J. y D. G. Kendall, «Epidemics and rumours», *Nature* , 1964.

[175] «Landau genius scale», EOHT.info, actualizada por última vez el 13 de febrero de 2019, www.eoht.info/page/Landau+genius+scale.

[176] Khalatnikov, I. M. y J. B. Sykes (eds.), *Landau: The Physicist and the Man: Recollections of L. D. Landau* , Oxford: Pergamon, 2013.

[177] Bettencourt, L. M. A. *et al.* , «The power of a good idea: quantitative modeling of the spread of ideas from epidemiological models», *Physica A* , 2006.

[178] Bettencourt *et al.* , «The power of a good idea».

[179] Azouly, P. *et al.* , «Does science advance one funeral at a time?», documento de trabajo, National Bureau of Economic Research, 2015.

[180] Catmull, E., «How Pixar fosters collective creativity», *Harvard Business Review* , septiembre de 2008.

[181] Grove, J., «Francis Crick Institute: "gentle anarchy" will fire research», *Times Higher Education* , 2 de septiembre de 2016.

[182] Bernstein, E. S. y S. Turban, «The impact of the "open" workspace on human collaboration», *Philosophical Transactions of the Royal Society B* , 2018.

[183] Información y citas: «History of the National Survey of Sexual Attitudes and Lifestyles», seminario del Wellcome Trust Centre for the History of Medicine en el UCL, Londres, 14 de diciembre de 2009.

[184] Mercer, C. H. *et al.* , «Changes in sexual attitudes and lifestyles in Britain through the life course and over time; findings from the National Surveys of Sexual Attitudes and Lifestyles (Natsal)», *The Lancet* , 2013.

[185] «Contagion: the BBC Four pandemic», www.bbc.co.uk/pandemic.

[186] Van Hoang, T. *et al.* , «A systematic review of social contact surveys to inform transmission models of close contact infections», *BioRxiv* , 2018.

[187] Mossong, J. *et al.* , «Social contacts and mixing patterns relevant to the spread of infectious diseases», *PLOS Medicine* , 2008; Kucharski, A. J. *et al.* , «The contribution of social behavior to the transmission of influenza A in a human population», *PLOS Pathogens* , 2014.

[188] Eames, K. T. D. *et al.* , «Measured dynamic social contact patterns explain the spread of H1N1V influenza», *PLOS Computational Biology* , 2012; Eames, K. T. D., «The influence of shool holiday timing on epidemic impact», *Epidemiology and Infection* , 2013; Baguelin, M. *et al.* , «Vaccination against pandemic influenza A/H1N1V in England: a real-time economic evaluation», *Vaccine* , 2010.

[189] Eggo, R. M. *et al.* , «Respiratory virus transmission dynamics determine timing of asthma exacerbation peaks: evidence from a population-level model», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* , 2016.

[190] Kucharski *et al.* , «The contribution of social behavior to the transmission of influenza A in a human population».

[191] Byington, C. L. *et al.* , «Community surveillance of respiratory viruses among families in the Utah Better Identification of Germs-Longitudinal Viral Epidemiology (BIG-LoVE) Study», *Clinical Infectious Diseases* , 2015.

[192] Brockmann, D. y D. Helbing, «The hidden geometry of complex, network-driven contagion phenomena», *Science* , 2013.

[193] Gog, J. R. *et al.* , «Spatial transmission of 2009 pandemic influenza in the US», *PLOS Computational Biology* , 2014.

[194] Keeling, M. J. *et al.* , «Individual identity and movement networks for disease metapopulations», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* , 2010.

[195] Odlyzko, A., «The forgotten discovery of gravity models and the inefficiency of early railway networks», 2015.

[196] Christakis, N. A. y J. A. Fowler, «The spread of obesity in a large social network over 32 years», *New England Journal of Medicine* , 2007.

[197] Christakis, N. A. y J. H. Fowler, «The collective dynamics of smoking in large social networks», *New England Journal of Medicine* , 2008; Christakis y Fowler, «Social contagion theory: examining dynamic social networks and human behavior», *Statistics in Medicine* , 2012.

[198] Cohen-Cole, E. y J. M. Fletcher, «Detecting implausible social network effects in acne, height, and headaches: longitudinal analysis», *British Medical Journal* , 2008.

[199] Lyons, R., «The spread of evidence-poor medicine via flawed social-network analysis», *Statistics, Politics and Policy* , 2011.

[200] Norscia, I. y E. Palagi, «Yawn contagion and empathy in *Homo sapiens* », *PLOS ONE* , 2011. Nótese que, aunque es muy fácil diseñar experimentos de bostezos, es más difícil interpretar los resultados. Véase Kapitány, R. y M. Nielsen, «Are yawns really contagious? A critique and quantification of yawn contagion», *Adaptive Human Behavior and Physiology* , 2017.

[201] Norscia, I. *et al.* , «She more than he: gender bias supports the empathic nature of yawn contagion in *Homo sapiens* », *Royal Society Open Science* , 2016.

[202] Millen, A. y J. R. Anderson, «Neither infants nor toddlers catch yawns from their mothers», *Royal Society Biology Letters* , 2010.

[203] Holle, H. *et al.* , «Neural basis of contagious itch and why some people are more prone to it», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* , 2012; Sy, T. *et al.* , «The contagious leader: impact of the leader's mood on the mood of group members, group affective tone, and group processes», *Journal of Applied Psychology* , 2005; Johnson, S. K., «Do you feel what I feel? Mood contagion and leadership outcomes», *Leadership Quarterly* , 2009; Bono, J. E. y R. Ilies, «Charisma, positive emotions and mood contagion», *Leadership Quarterly* , 2006.

[204] Sherry, D. F. y B. G. Galef, «Cultural transmission without imitation: milk bottle opening by birds», *Animal Behavior* , 1984.

[205] Información: Aplin, L. M. *et al.* , «Experimentally induced innovations lead to persistent culture via conformity in wild birds», *Nature* , 2015. Las citas son de una entrevista llevada a cabo por el autor con Lucy Aplin en agosto de 2017.

[206] Weber, M., *Economy and Society* , Nueva York: Bedminster Press, 1968.

[207] Manski, C., «Identification of endogenous social effects: the reflection power», *Review of Economic Studies* , 1993.

[208] Datar, A. y N. Nicosia, «Association of exposure to communities with higher ratios of obesity with increased body mass index and risk of overweight and obesity among parents and children», *JAMA Pediatrics* , 2018.

[209] Fragmentos de una entrevista del autor con Dean Eckles, agosto de 2017.

[210] Editorial, «Epidemiology is a science of high importance», *Nature Communications* , 2018.

[211] Información sobre tabaquismo y cáncer: Howick, J. *et al.* , «The evolution of evidence hierarchies: what can Bradford Hill's "guidelines for causation" contribute?», *Journal of the Royal Society of Medicine* , 2009; Mourant, A., «Why Arthur Mourant decided to say "no" to Ronald Fisher», *The Scientist* , 12 de diciembre de 1988.

[212] Ross, R., *Memoirs, with a Full Account of the Great Malaria Problem and Its Solution* , Londres: J. Murray, 1923.

[213] Racaniello, V., «Koch's postulates in the 21st century», *Virology Blog* , 22 de enero de 2010, www.virology.ws/2010/01/22/kochs-postulates-in-the-21st-century/.

[214] Obituario de Alice Stewart, *The Telegraph* , 16 de agosto de 2002.

[215] Rasmussen, S. A. *et al.* , «Zika virus and birth defects: reviewing the evidence for causality», *New England Journal of Medicine* , 2016.

[216] Greene, G., *The Woman Who Knew Too Much: Alice Stewart and the Secrets of Radiation* , Ann Arbor: University of Michigan Press, 2001.

[217] Información y citas de una entrevista del autor con Nicholas Christakis, junio de 2018.

[218] Lyons, R., «The Spread of Evidence-Poor Medicine via Flawed Social-Network Analysis», *Statistics, Politics, and Policy* , 2011.

[219] Granovetter, M. S., «The strenght of weak ties», *American Journal of Sociology* , 1973.

[220] Dhand, A., «Social networks and risk of delayed hospital arrival after acute stroke», *Nature Communications* , 2019.

[221] Centola, D. y M. Macy, «Complex contagions and the weakness of long ties», *American Journal of Sociology* , 2007; Centola, D., *How Behavior Spreads: The Science of Complex Contagions* , Princeton (Nueva Jersey): Princeton University Press, 2018.

[222] Darley, J. M. y B. Latane, «Bystander intervention in emergencies: diffusion of responsibility», *Journal of Personality and Social Psychology* , 1968.

[223] Centola, *How Behavior Spreads* .

[224] Coviello, L. *et al.* , «Detecting emotional contagion in massive social networks», *PLOS ONE* , 2014; Aral, S. y C. Nicolaides, «Exercise contagion in a global social network», *Nature Communications* , 2017.

[225] Fleischer, D., «Executive summary», *The Prop 8 Report* , 2010, http://prop8report.lgtbmentoring.org/read-the-report/executive-summary.

[226] Información sobre entrevistas en profundidad: Issenberg, S., «How do you change someone's mind about abortion? Tell them you had one», *Bloomberg* , 6 de octubre de 2014; Resnick, B., «These scientists can prove it's possible to reduce prejudice», *Vox* , 8 de abril de 2016; Bohannon, J., «For real this time: talking to people about gay and transgender issues can change their prejudices», *Science* , 7 de abril de 2016, www.sciencemag.org/news/2016/04/real-time-talking-people-about-gay-and-transgender-issues-can-change-their-prejudices.

[227] Mandel, D. R., «The psychology of Bayesian reasoning», *Frontiers in Psychology* , 2014.

[228] Nyhan, B. y J. Reifler, «When corrections fail: the persistence of political misperceptions», *Political Behavior* , 2010.

[229] Wood, T. y E. Porter, «The elusive backfire effect: mass attitudes' steadfast factual adherence», *Political Behavior* , 2018.

[230] LaCour, M. H. y D. P. Green, «When contact changes minds: an experiment on transmission of support for gay equality», *Science* , 2014.

[231] Broockman, D. y J. Kalla, «Irregularities in LaCour (2014)», documento de trabajo, mayo de 2015, https://stanford.edu/~dbroock/broockman_kalla_aronow_lg_irregularities.pdf.

[232] Duran, L., «How to change view on trans people? Just get personal», *TakeTwo* , 7 de abril de 2016, www.scpr.org/programs/take-two/2016/04/07/47804/how-to-change-views-on-trans-people-just-get-perso/.

[233] Comentarios de Gelman, A., «LaCour and Green 1, This American Life 0», 16 de diciembre de 2015, https://statmodeling.stat.columbia.edu/2015/12/16/lacour-and-green-1-this-american-life-o/.

[234] Wood, T. y E. Porter, «The elusive backfire effect».

[235] Weiss, R., y M. Fitzgerald, «Edwards, first lady at odds on stem cells», *Washington Post* , 10 de agosto de 2004.

[236] Citas de una entrevista del autor con Brendan Nyhan, noviembre de 2018.

[237] Nyhan, B. *et al.* , «Taking fact-checks literally but not seriously? The effects of journalistic fact-checking on factual beliefs and candidate favorability», *Political Behavior* , 2019.

[238] Ejemplo: @BrendanNyhan, tuit, 2 de mayo de 2017, https://twitter.com/brendannyhan/status/859573499333136384.

[239] Strudwick, P. A., «Former MP has made a heartfelt apology for voting against same-sex marriage», *BuzzFeed* , 28 de marzo de 2017.

[240] La evidencia muestra también que la gente que ha cambiado de opinión sobre un tema, y que explica por qué ha cambiado de opinión, puede ser más persuasiva que aquellos que simplemente tienen un mensaje parcial. Fuente: Lyons, B. A. *et al.* , «Conversion messages and attitude change: strong arguments, not costly signals», *Public Understanding of Science* , 2019.

[241] Feinberg, M. y R. Willer, «From gulf to bridge: when do moral arguments facilitate political influence?», *Personality and Social Psychology* , 2016.

[242] Roghanizad, M. M. y V. K. Bohns, «Ask in person: you're less persuasive than you think over email», *Journal of Experimental Social Psychology* , 2016.

[243] How, J. J. y E. D. De Leeuw, «A comparison of nonresponse in mail, telephone, and face-to-face surveys», *Quality and Quantity* , 1994; Gerber, A. S. y D. P. Green, «The effects of canvassing, telephone calls, and direct mail on voter turnout: a field experiment», *American Political Science Review* , 2000; Okdie, B. M. *et al.* , «Getting to know you: face-to-face versus online interactions», *Computers in Human Behavior* , 2011.

[244] Citas de una entrevista del autor con Briony Swire-Thompson, julio de 2018.

[245] Swire, B. *et al.* , «The role of familiarity in correcting inaccurate information», *Journal of Experimental Psychology, Learning, Memory, and Cognition* , 2017.

[246] Broockman, D. y J. Kalla, «Durably reducing transphobia: a field experiment on door-to-door canvassing», *Science* , 2016.

04

Algo en el aire

«Vivíamos en un sitio realmente violento». Después de una década trabajando sobre enfermedades epidémicas en África Central y del Este, Gary Slutkin había vuelto a los Estados Unidos. Había decidido establecerse en Chicago para estar cerca de sus padres, ya mayores, y se vio sorprendido por la magnitud de la violencia en la ciudad. «Estaba por todas partes, era imposible de evitar, así que empecé a preguntar a la gente qué estaban haciendo al respecto —dijo Slutkin—. Y nada de lo que me contaban tenía, en mi opinión, ningún sentido». [247]

Era el año 1994, y el año anterior se habían producido alrededor de ochocientos homicidios en la ciudad, incluido el asesinato de sesenta y dos niños por parte de bandas. Incluso casi dos décadas después, los homicidios seguirían siendo la principal causa de muerte de jóvenes adultos en el estado de Illinois. [248] Slutkin oyó varias explicaciones sobre la crisis, desde la nutrición y el empleo hasta las familias y la pobreza. Pero la discusión normalmente volvía a una serie de soluciones que apelaban al castigo. Desde su punto de vista, la violencia era lo que él denominaba un «problema estancado». Médico de formación, se había encontrado con situaciones similares en su trabajo con enfermedades infecciosas como el VIH-sida y el cólera. A menudo las ideas sobre algo se estancan durante años. Aunque una estrategia no funcione realmente, no cambia.

Si la violencia era un problema estancado, lo que se necesitaba era una nueva forma de pensar. «Había que empezar de cero», pensaba Slutkin. De manera que hizo lo que haría cualquier investigador en salud pública: miró mapas y gráficos, hizo preguntas, intentó comprender cómo se estaba produciendo la violencia. Y es entonces cuando empezó a apreciar patrones familiares. «Las aglomeraciones que se ven en los mapas de los homicidios en las ciudades de los Estados Unidos recuerdan a los mapas del cólera en Bangladés», escribió posteriormente. [249] «Los gráficos históricos que

muestran brotes de asesinatos en Ruanda recuerdan a los gráficos del cólera en Somalia».

A Susannah Eley le gustaba recibir su agua todos los días. Después de la muerte de su marido, se había mudado del bullicioso Soho de Londres al arbolado Hampstead. Pero seguía prefiriendo el agua del surtidor de la ciudad. Pensaba que sabía mejor.

Un día de agosto de 1854, la sobrina de Eley, que vivía en el vecino Islington, fue a visitarla. En una semana, ambas habían muerto. El culpable fue el cólera, una agresiva enfermedad que causa diarrea y vómitos. El mismo día que Eley murió de cólera, otras 127 personas también murieron de la enfermedad, la mayoría de ellas en el Soho. A finales de septiembre, el brote había matado a seiscientas personas en Londres. En esta época anterior al trabajo de Koch sobre la teoría de los gérmenes, la biología del cólera era todavía un misterio. «No sabemos nada: estamos en mar abierto en medio de un remolino de conjeturas», escribió Thomas Wakley, fundador de la revista médica *The Lancet* , un año antes del comienzo del brote. La gente estaba empezando a darse cuenta de que enfermedades como la viruela y el sarampión eran contagiosas, se propagaban de alguna manera de una persona a otra, pero el cólera parecía ser algo diferente. La mayoría creía en la «teoría de los miasmas», que afirmaba que el cólera se propaga a través de malos olores en el aire. [250]

Pero no John Snow. Originario de Newcastle, Snow había investigado su primer brote de cólera en 1831 como aprendiz, cuando tenía dieciocho años. Incluso entonces se dio cuenta de la existencia de algunas pautas extrañas. Aquellos que deberían haber estado en riesgo por su exposición a los malos aires no habían enfermado, y personas que supuestamente no estaban en riesgo, sí. Snow se trasladó posteriormente a Londres, ganándose una reputación como talentoso anestesista, con la reina Victoria entre sus pacientes. No obstante, cuando estalló el brote de cólera en la ciudad en 1848, retomó sus viejas investigaciones. ¿Quién estaba enfermando? ¿Cuándo enfermaban? ¿Qué vinculaba unos casos y otros? Al año siguiente, Snow publicó un artículo con una nueva teoría: la enfermedad se propagaba de una persona a otra a través del agua contaminada. Se dio cuenta de ello cuando observó que los pacientes a menudo compartían la misma compañía de aguas. Era un descubrimiento impresionante, especialmente porque

Snow no tenía ni idea de que eran unas bacterias microscópicas las que estaban proyectando la enorme sombra del cólera.

El brote de 1854 en el Soho acabaría siendo la prueba de fuego para la teoría de Snow. Estaban por un lado los trabajadores de la fábrica de cervezas local, con su dieta de cerveza y agua importada, que no enfermaron. Y, por otro lado, Susannah Eley y su sobrina, que recibían su agua desde el Soho y enfermaron. A medida que el brote crecía, Snow decidió que era el momento de intervenir. La salud pública en el Soho era responsabilidad de una junta local de guardianes. Se presentó sin haber sido invitado a una de sus reuniones y formuló sus argumentos. La junta no se los creyó del todo, pero a pesar de ello decidieron quitar la palanca del surtidor. El brote se terminó poco después.

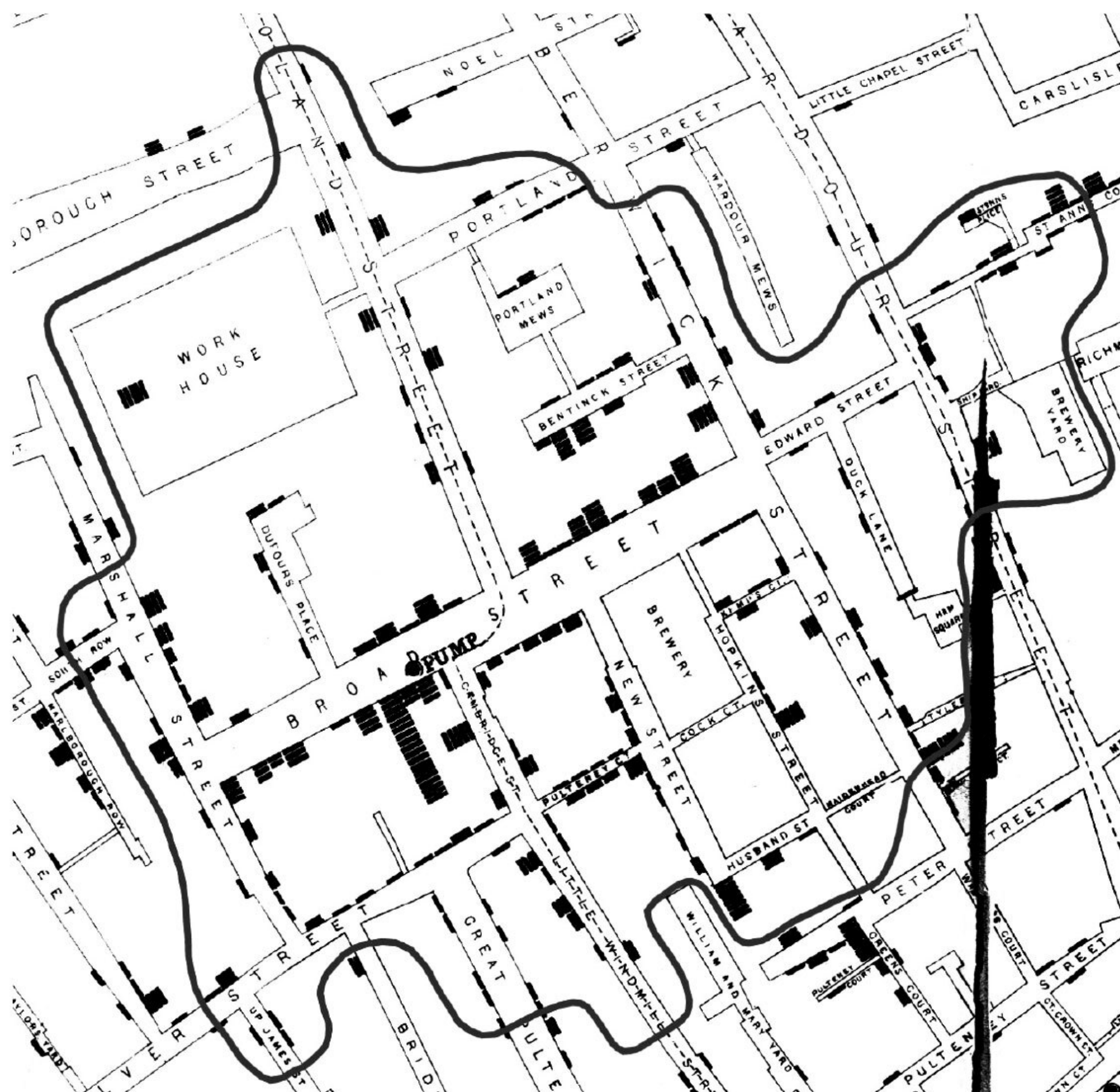


Figura 19. El mapa de Soho actualizado de Snow. La marca en el lado derecho es una rotura en la página original. Fuente: John Snow Archive and Research Companion, https://johnsnow.matrix.msu.edu/.

Tres meses después, Snow escribió su teoría con más detalle. El informe incluía lo que se convertiría en su ilustración más famosa: un mapa del Soho, con rectángulos negros que mostraban cada uno de los casos de cólera. Los casos se agrupaban en torno a Broad Street, cerca del surtidor. Se trataba de un trabajo pionero en abstracción, que eliminaba detalles innecesarios. Mientras que artistas abstractos como Malevich y Mondrian pintarían más adelante bloques de color para eludir la realidad, las formas

empleadas por Snow dirigían toda la atención a los casos de cólera. [251] Sus rectángulos hicieron que una verdad hasta ese momento invisible —la fuente de la infección— se hiciese tangible.

No obstante, por sí solo el mapa no proporcionaba una evidencia clara de que el agua era la responsable. Si el brote de cólera hubiese sido el resultado de los malos aires en torno a Broad Street, la pauta habría sido muy parecida. De manera que Snow trazó un segundo mapa, con un añadido crucial. Además de incluir los casos, calculó cuánto se tardaría en llegar andando a los diferentes surtidores de agua, trazando una línea alrededor del área para la cual el surtidor de Broad Street era el más cercano. Destacó aquellas áreas que estarían expuestas a un riesgo mayor si el culpable era el surtidor. Tal como sugería su teoría, eran las áreas donde aparecían más casos de cólera.

Snow no viviría para ver vindicadas sus ideas. Cuando murió, en 1858, *The Lancet* publicó un obituario de dos frases, que no mencionaba su trabajo sobre los brotes de cólera. Como un miasma intelectual, el concepto de los malos aires continuó sobrevolando la comunidad médica.

Al final, su idea sobre el contagio del cólera se impuso. A comienzos de la década de 1890, se había aceptado en buena medida la idea de Robert Koch de que los gérmenes propagaban la enfermedad. Entonces, en 1895, Koch logró infectar a un animal de laboratorio con cólera. [252] Habiéndose cumplido los postulados de su teoría, esto proporcionaba una evidencia convincente de que las bacterias causaban la enfermedad, y de que el cólera se propagaba a través del agua infectada en lugar de provenir de los malos aires. Snow había estado en lo cierto.

Ahora siempre pensamos en las enfermedades infecciosas en términos de gérmenes y no de miasmas, pero, en opinión de Gary Slutkin, no hemos progresado de la misma manera en nuestro análisis de la violencia. «Estamos estancados en el moralismo —quién es bueno, quién es malo—». Consideraba que muchas sociedades son muy punitivas; no han cambiado sus actitudes hacia la violencia en siglos. «Siento como si viviese en el pasado».

Aunque la biología ha progresado desde los tiempos de los «malos aires», el debate sobre la delincuencia todavía se centra en las malas personas. Slutkin piensa que esto es así en parte porque la idea de que la violencia es contagiosa es menos intuitiva que la referida al contagio de enfermedades.

«En este caso no tienes un microorganismo invisible que puedas mostrar a alguien por el microscopio». No obstante, los paralelismos entre la enfermedad infecciosa y la violencia le parecían muy claros. «Recuerdo haber tenido una epifanía cuando le pregunté a alguien: “¿Cuál es el determinante principal de la violencia? ¿Cuál es el mejor predictor?”. Y la respuesta fue “un evento violento anterior”». En su opinión, esta era una señal muy obvia de contagio. Y eso le hizo preguntarse si quizás los métodos empleados para controlar las enfermedades infecciosas podrían ser aplicados también a la violencia.

Hay varias similitudes entre los brotes de una enfermedad y los brotes de violencia. Una de ellas es el retardo entre la exposición y los síntomas. Al igual que en una infección, la violencia puede tener un periodo de incubación; podemos no ver inmediatamente los síntomas. En ocasiones un evento violento llevará a otro poco después; por ejemplo, una banda puede no tardar mucho en vengarse de otra. En otras ocasiones puede pasar mucho más tiempo antes de que surjan efectos secundarios. A mediados de la década de 1990, la epidemióloga Charlotte Watts trabajó con la OMS en el desarrollo de un gran estudio sobre la violencia doméstica contra las mujeres. [253] Watts había estudiado Matemáticas antes de dedicarse a la investigación de las enfermedades, centrándose en el VIH. A medida que se desarrollaba su trabajo sobre el VIH, empezó a darse cuenta de que la violencia contra las mujeres influía en la transmisión de la enfermedad porque afectaba a sus posibilidades de tener sexo seguro. Pero esto, a su vez, reveló un problema aún mayor: nadie sabía realmente la magnitud de ese tipo de violencia. «Todos estaban de acuerdo en que necesitábamos datos poblacionales», me dijo. [254]

El estudio de la OMS fue el resultado de la aplicación por parte de Watts y sus colegas de ideas de salud pública al tema de la violencia doméstica. Tal como dijo Watts, «gran parte de la investigación anterior la trataba como una cuestión policial o se centraba en los determinantes psicológicos de la violencia». «Los que trabajan en salud pública preguntan: ¿cuál es la visión de conjunto?, ¿qué nos dice la evidencia sobre los factores de riesgo individuales, de las relaciones y de la comunidad?». Algunos han sugerido que la violencia doméstica depende completamente del contexto o de la cultura, pero este no es necesariamente el caso. «Hay algunos elementos comunes que aparecen consistentemente —dijo Watts—, como la exposición a la violencia durante la infancia».

En la mayor parte de los sitios en los que se llevó a cabo el estudio de la OMS, al menos una de cada cuatro mujeres había sufrido abuso físico por una de sus parejas. Watts observó que la violencia puede seguir lo que en medicina se conoce como un «efecto dosis-respuesta». Para algunas patologías, el riesgo de enfermar puede depender de la dosis del patógeno al que está expuesta una persona, y por ello una pequeña dosis es menos probable que cause una enfermedad severa. Hay evidencia de un efecto similar en las relaciones. Si un hombre o una mujer tiene un historial que incluye episodios de violencia, esto incrementa la probabilidad de violencia doméstica en sus relaciones futuras. Y si los dos miembros de la relación tienen un historial de violencia, el riesgo se incrementa todavía más. Esto no quiere decir que personas con un historial que incluya episodios violentos estén destinadas siempre a tener un futuro violento; tal como sucede con muchas infecciones, la exposición a la violencia no llevará necesariamente al desarrollo de síntomas en el futuro. Pero, también al igual que con las enfermedades infecciosas, un núme ro de factores —nuestros antecedentes, nuestros estilos de vida, nuestras interacciones sociales— pueden incrementar el riesgo de un brote. [255]

Otra característica notable de los brotes de enfermedades es que los casos tienden a agruparse en un determinado lugar, y las infecciones aparecen en un periodo corto de tiempo. Pensemos en ese brote de cólera en Broad Street, con los casos agrupados en torno al surtidor de agua. Podemos encontrar pautas similares cuando observamos actos violentos. Durante siglos, se han registrado concentraciones localizadas de casos de autolesiones y suicidios: en escuelas, en prisiones, en comunidades. [256] No obstante, la existencia de concentraciones de suicidios no significa necesariamente que se esté produciendo contagio. [257] Como vimos en el caso del contagio social, las personas pueden comportarse de la misma manera por otras razones, como, por ejemplo, alguna característica común de su entorno. Una forma de excluir esta posibilidad es centrarse en los días posteriores a muertes que hayan tenido mucha repercusión; es más probable que un miembro del público se entere del suicidio de una persona muy conocida que al revés. En 1974, David Phillips publicó un artículo de referencia que examinaba la cobertura de los suicidios por parte de los medios. Descubrió que cuando los periódicos británicos y estadounidenses incluían una historia en primera página sobre un suicidio, el número de suicidios en el área local tendía a incrementarse inmediatamente después.

[258] Posteriores estudios han encontrado pautas similares con noticias de los medios, lo que sugeriría que el suicidio se puede contagiar. [259] La respuesta de la OMS ha sido la publicación de unas directrices para una información responsable sobre los suicidios. Los medios deberían proporcionar información sobre dónde buscar ayuda y evitar titulares sensacionalistas, detalles sobre los medios empleados y sugerencias de que el suicidio pueda ser la solución a un problema.

Desgraciadamente, los medios a menudo ignoran estas directrices. Un grupo de investigadores de la Universidad de Columbia observó un 10 por ciento de incremento en los suicidios en los meses posteriores a la muerte del actor Robin Williams. [260] Pensaban que se podía deber a un potencial efecto contagio, dado que gran parte de la cobertura de los medios no siguió las directrices de la OMS, y que el mayor incremento de los suicidios se produjo entre hombres de mediana edad mediante el mismo método que empleó Williams. Un efecto similar se puede producir con los tiroteos masivos; un estudio estimó que por cada diez tiroteos masivos en los Estados Unidos, se producen dos tiroteos adicionales como resultado del contagio social. [261]

El hecho de que los suicidios y los tiroteos a menudo se incrementen después de esas noticias en los medios sugiere que el retardo entre un evento contagioso y otro —conocido en epidemiología como «tiempo de generación»— es relativamente corto. Algunas concentraciones de suicidios han supuesto múltiples fallecimientos en cuestión de semanas: en 1989 hubo un brote de suicidios en un instituto de Pensilvania, con nueve intentos en dieciocho días. Si estos eventos fueron el resultado de un contagio, el tiempo de generación habría sido en algunos casos de solo unos pocos días. [262]

La concentración de casos es también común en otros tipos de violencia. En 2015, una cuarta parte de los asesinatos con armas de fuego en los Estados Unidos se concentraron en barrios que suponían menos del 2 por ciento de toda la población del país. [263] Cuando Gary Slutkin y sus colegas se propusieron estudiar la violencia como si fuera un brote, planearon centrarse en barrios de este tipo. Llamaron a su programa inicial «Alto el Fuego», un programa que finalmente derivó en una organización mayor denominada «Curemos la Violencia». Al principio, les llevó un tiempo establecer qué enfoque concreto debían seguir. «Estuvimos cinco años pensando en distintas estrategias hasta que pudimos poner una en

práctica en la calle», dijo Slutkin. El método de Curemos la Violencia terminó consistiendo en tres apartados. En primer lugar, el equipo recluta «interruptores de violencia» que pueden detectar potenciales conflictos e intervenir para detener la transmisión de la violencia. Alguien podría terminar en un hospital con una herida de bala, por ejemplo, y un interruptor intervendría entonces para convencer a sus amigos de que no se vengasen. En segundo lugar, Curemos la Violencia identifica quién tiene un riesgo mayor de experimentar violencia, empleando divulgadores para alentar cambios en actitudes y comportamientos. Esto puede incluir ayuda en cuestiones como la búsqueda de empleo o el tratamiento contra la drogadicción. Finalmente, el equipo trata de cambiar las normas sociales sobre las armas de fuego en la comunidad. La idea es tener muchas y variadas voces contra una cultura de la violencia.

Los interruptores y divulgadores se reclutan directamente en las comunidades afectadas; algunos son antiguos delincuentes o antiguos miembros de bandas. En palabras de Charlie Ransford, el director de Ciencia y Política de Curemos la Violencia: «Reclutamos trabajadores que sean creíbles para esa población. Para cambiar los comportamientos y convencer a la gente de que deje de hacer algo, ayuda el que te entiendan y quizás que te conozcan o que conozcan a alguien que te conozca». [264] Esta es otra idea familiar en el mundo de las enfermedades infecciosas: los programas del VIH a menudo reclutan a antiguos trabajadores sexuales para ayudar a cambiar el comportamiento de otros trabajadores que aún se enfrentan a un riesgo alto. [265]

El primer proyecto de Curemos la Violencia comenzó el año 2000 en West Garfield Park, Chicago. ¿Por qué escogieron ese sitio? «Era el distrito policial más violento del país en ese momento —dijo Slutkin—. Siempre me he inclinado (igual que muchos epidemiólogos) por ir directo al centro de la epidemia, porque es el mejor test y donde puedes tener un mayor impacto». Un año después del comienzo del programa, los tiroteos en West Garfield Park se habían reducido aproximadamente en dos tercios. El cambio había sido rápido; los interruptores habían roto las cadenas de violencia que unían a una persona con otra. La pregunta es: ¿qué ocurría en las cadenas de transmisión para hacer posible la interrupción?

Un sábado por la tarde de mayo de 2017, dos miembros de una banda salieron de un callejón en el vecindario de Brighton Park en Chicago.

Llevaban fusiles de asalto. Acabarían disparando sobre diez personas y matando a dos de ellas. Era una represalia por un asesinato relacionado con una guerra de bandas que se había producido esa misma mañana. [266]

Los tiroteos en Chicago muchas veces se relacionan unos con otros por esta razón. Andrew Papachristos, un sociólogo de la Universidad de Yale, había pasado varios años estudiando los patrones de la violencia con armas de fuego en la ciudad. Nativo de Chicago, había observado que los tiroteos se relacionaban frecuentemente con contactos sociales. Las víctimas normalmente se conocían y habían sido detenidas juntas previamente. Por supuesto, solo porque dos personas estén conectadas y compartan una característica —como el estar implicadas en un tiroteo— no significa necesariamente que haya habido contagio. Puede deberse al entorno que comparten, o a que la gente tiende a asociarse con aquellos que tienen características similares (homofilia). [267]

Para profundizar en esa investigación, Papachristos y sus colaboradores reunieron datos del Departamento de Policía de Chicago sobre todos aquellos que habían sido detenidos entre 2006 y 2014. [268] La base de datos incluía alrededor de 462.000 personas. Con esta información, trazaron una «red de codelincuentes», personas que habían sido detenidas al mismo tiempo. Muchos de los individuos nunca habían sido detenidos junto a otra persona de la muestra, pero había un cuantioso grupo que podía ser relacionado a través de una serie de eventos de codelincuencia. Este grupo incluía a 138.000 personas, alrededor de una tercera parte de los incluidos en la base de datos.

El equipo de Papachristos comenzó a comprobar si la homofilia o los factores medioambientales podían explicar las pautas observadas de violencia con armas de fuego. Descubrieron que era poco probable: muchos tiroteos estaban relacionados de una manera que no podía ser explicada por la homofilia o el entorno, lo que sugería que el responsable era el contagio. Habiendo identificado los tiroteos que eran probablemente debidos al contagio, el equipo reconstruyó cuidadosamente las cadenas de transmisión entre un tiroteo y el siguiente. Estimaron que por casi cien personas tiroteadas, el contagio generaría sesenta y tres nuevos ataques. En otras palabras, la violencia con armas de fuego en Chicago tenía un número de reproducción de aproximadamente 0,63.

Si el número de reproducción es menor que 1, se puede dar un brote, pero raramente dura mucho. El equipo de Yale identificó alrededor de cuatro mil

brotes de violencia con armas de fuego en Chicago, pero la mayoría eran pequeños. La gran mayoría consistía en un único tiroteo, sin contagio adicional. No obstante, en ocasiones los brotes eran mucho mayores; uno de ellos incluyó casi quinientos tiroteos relacionados entre sí. Esta fuerte variación en el tamaño de los brotes sugiere que la transmisión se explica por eventos de superpropagación. Tras analizar con más detalle los datos de los brotes en Chicago, estimé que la transmisión de la violencia con armas de fuego estaba muy concentrada. Es probable que menos del 10 por ciento de los tiroteos lleven al 80 por ciento de los ataques subsiguientes. [269] Al igual que en el caso de la transmisión de enfermedades —que también puede verse influida por los superpropagadores— la mayoría de los tiroteos no llevaron a contagios adicionales.

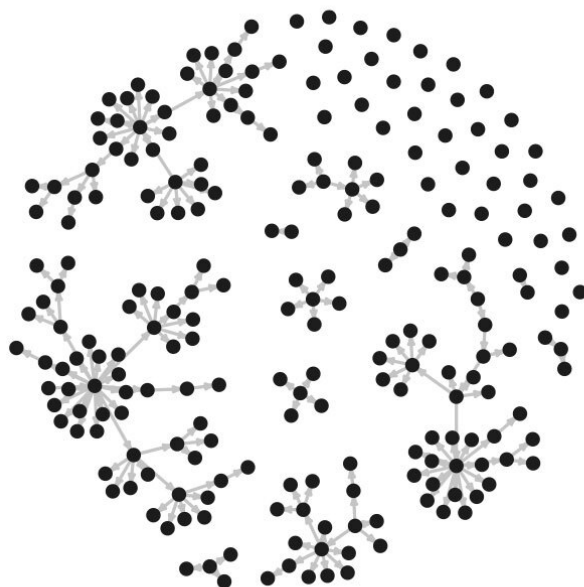


Figura 20. Cincuenta brotes simulados de tiroteos, basados en las dinámicas del contagio de la violencia en Chicago. Los puntos muestran tiroteos, y las flechas grises indican ataques subsiguientes. Aunque hay algún evento de superpropagación, la mayoría de los brotes (los puntos solitarios sin flechas que los conecten) implican un único tiroteo sin posterior transmisión.

Las cadenas de transmisión en Chicago también revelaron cuál era la velocidad de transmisión. De media, el tiempo de generación entre un tiroteo y otro era de 125 días. A pesar de la atención prestada a casos dramáticos de represalias como el ataque de Brighton Park en mayo de

2017, parece que muchas otras rencillas cocinadas a fuego lento habían pasado desapercibidas.

Estas redes de tiroteos ayudan a explicar por qué es plausible el enfoque de Curemos la Violencia. Comencemos por el hecho de que podemos estudiar las redes; si queremos controlar un brote, ayuda el que podamos identificar rutas de transmisión potenciales. Slutkin comparó la interrupción de la violencia con los métodos de control de los brotes de viruela. Cuando la viruela estaba al borde de su erradicación en la década de 1970, los epidemiólogos usaron un «anillo de vacunación» para acabar de una vez por todas con los últimos rescoldos de la infección. Cuando aparecía un nuevo caso de la enfermedad, un equipo buscaba a las personas con las que el infectado pudiese haber estado en contacto, como familiares y vecinos, así como a los contactos individuales de estos. Después se vacunaba a las personas dentro de este anillo, previniendo que el virus de la viruela se propagase. [270]

La viruela tenía dos características que iban a favor del equipo de salud. Para propagarse de una persona a otra, la enfermedad requería interacciones cara a cara prolongadas. Esto significaba que los equipos podían identificar quién estaba en riesgo. Además, el tiempo de generación de la viruela era un par de semanas; cuando se informaba de un caso, los equipos tenían tiempo suficiente para buscar a los potenciales afectados y vacunarlos antes de que apareciesen nuevos casos. La propagación de la violencia con armas de fuego comparte estas características: la violencia se transmite en muchas ocasiones a través de vínculos sociales conocidos, y el tiempo que transcurre entre un tiroteo y el siguiente es lo suficientemente prolongado para que los interruptores intervengan. Si los tiroteos fuesen más aleatorios, o el lapso de tiempo entre ellos fuese más corto, la interrupción de la violencia no sería tan efectiva.

Una evaluación independiente de Curemos la Violencia por parte del Instituto Nacional de Justicia de los Estados Unidos encontró una caída sustancial de los tiroteos en áreas donde se había introducido el programa. Es difícil evaluar el impacto preciso de los programas antiviolencia, porque la violencia podría ya haber empezado a descender por alguna otra razón. Pero la violencia no ha disminuido tanto en áreas comparables de Chicago, lo que sugiere que Curemos la Violencia estaba realmente detrás de la reducción de los tiroteos en muchos sitios. En 2007, Curemos la Violencia empezó a trabajar en Baltimore. Cuando más adelante un grupo de

investigadores de la Universidad Johns Hopkins evaluaron los resultados, estimaron que en los primeros dos años el programa había evitado alrededor de treinta y cinco tiroteos y cinco homicidios. Otros estudios han encontrado reducciones similares tras la introducción de los métodos de Curemos la Violencia. [271]

Aun así, el enfoque de Curemos la Violencia no ha estado exento de críticas. Gran parte del escepticismo ha provenido de los responsables de los enfoques tradicionales; en el pasado, la policía de Chicago se quejó de falta de cooperación por parte de los interruptores. Ha habido también casos de interruptores acusados de otros delitos. Esos problemas son probablemente inevitables, dado que el programa se basa en reclutar interruptores que son parte de las comunidades de riesgo, y no miembros de la policía. [272] Y después está la cuestión del tiempo que tarda en producirse el cambio social. Aunque detener represalias puede tener un efecto inmediato sobre la violencia, enfrentarse a los problemas sociales subyacentes puede llevar años. [273] Lo mismo se puede decir de las enfermedades infecciosas; podemos ser capaces de detener brotes, pero también necesitamos pensar sobre las debilidades subyacentes a los sistemas sanitarios que han facilitado el surgimiento de esos mismos brotes.

Basándose en sus proyectos en Chicago, Curemos la Violencia se ha expandido a otras ciudades de los Estados Unidos, como Los Ángeles y Nueva York, y también ha establecido proyectos en países como Irak y Honduras. Los enfoques de salud pública también han inspirado la creación de una Unidad de Reducción de la Violencia en Glasgow (Escocia). En 2005, la ciudad fue nombrada capital europea de los asesinatos. Todas las semanas se producían docenas de ataques con arma blanca, incluyendo numerosos incidentes de las famosas «sonrisas de Glasgow» marcadas en las mejillas de las víctimas. Además, la violencia estaba mucho más extendida de lo que las cifras policiales sugerían. Cuando Karyn McCluskey, directora de Análisis de Inteligencia de la Policía de Strathclyde, analizó los historiales de los hospitales, quedó claro que la mayor parte de los incidentes ni siquiera eran denunciados. [274]

Los descubrimientos de McCluskey —y las recomendaciones que los acompañaban— llevaron a la creación de la Unidad de Reducción de la Violencia, que ella misma dirigiría durante la década siguiente. Tomando prestadas técnicas de Curemos la Violencia y otros proyectos de los Estados Unidos, como la Operación Alto el Fuego de Boston, la unidad introdujo

toda una serie de ideas de salud pública para detener la propagación de la violencia. [275] Esto incluía enfoques de interrupción, como supervisar las urgencias de los hospitales buscando víctimas de la violencia para disuadir de la realización de potenciales venganzas. También la ayuda a miembros de bandas para que adquiriesen formación y buscasen un empleo, al mismo tiempo que se adoptaba una posición inflexible contra aquellos que decidían continuar con la violencia. Además se emplearon medidas a largo plazo, como proporcionar apoyo a niños vulnerables para detener la transmisión de la violencia de una generación a la siguiente. Aunque todavía queda mucho por hacer, los resultados iniciales han sido prometedores; tras su creación, la unidad ha conseguido una gran disminución de los delitos violentos. [276]

Desde 2018, Londres ha estado trabajando en una iniciativa similar para enfrentarse a lo que ha sido descrito como una «epidemia» de delitos con arma blanca en la ciudad. Si el programa londinense quiere tener el mismo éxito que el de Glasgow, necesitará establecer vínculos estrechos entre la policía, las comunidades, los maestros, los servicios sociales, los trabajadores sociales y los medios. También necesitará una inversión sostenida, dada la naturaleza a veces compleja y profunda del problema. Tal como McCluskey declaró a *The Independent* poco antes de que se estableciese el proyecto londinense, «se trata de invertir en las cuestiones más prácticas, en términos de prevención, y de aceptar que esa inversión podría no generar beneficios rápidos». [277]

Conseguir una inversión sostenida en el tiempo puede ser algo complicado para los enfoques de salud pública. A pesar de una creciente aceptación en otros lugares, la financiación para el programa original en Chicago de Curemos la Violencia ha sido esporádica, con varios recortes a lo largo de los años. Slutkin considera que las actitudes hacia la violencia están cambiando en muchos sitios, pero no con la facilidad que esperaría. «Es frustrantemente lento», me dijo.

Uno de los mayores desafíos en el área de salud pública es convencer a la gente. No es solo cuestión de mostrar que un nuevo enfoque funciona mejor que los métodos existentes. También se trata de defender ese enfoque, presentando un argumento convincente que pueda ayudar a pasar de la evidencia estadística a la acción.

En el mundo de la promoción de la salud pública, pocas personas han sido tan efectivas —o pioneras— como Florence Nightingale. Mientras John Snow estaba analizando el cólera en el Soho, Nightingale estaba estudiando las enfermedades a las que se enfrentaban las tropas británicas que combatían en la guerra de Crimea. Nightingale había llegado al frente a finales de 1854 a la cabeza de un grupo de enfermeras militares. Se encontró con que los soldados estaban muriendo en tasas sorprendentes. No eran solo los combates los que los estaban matando; eran infecciones como el cólera, las fiebres tifoideas, el tifus y la disentería. De hecho, las infecciones eran la principal causa de muerte. A lo largo de 1854, por cada soldado muerto por heridas de combate, ocho lo hicieron a causa de enfermedades. [278]

Nightingale estaba convencida de que la culpa era la falta de higiene. Cada noche, caminaba alrededor de seis kilómetros por los corredores del hospital, lámpara en mano. Los pacientes yacían en sucios colchones, rodeados de ratas y con las paredes cubiertas de suciedad. «Sus ropas estaban infectadas de piojos —recordaba Nightingale—, tan grandes como las letras de una página impresa». Con sus enfermeras, se puso a limpiar las salas del hospital. Se aseguraron de que la ropa de cama se lavase, al igual que los pacientes y las paredes. En marzo de 1855, el Gobierno británico envió a un grupo de comisionados a Crimea para mejorar las condiciones en los hospitales. Mientras que Nightingale se había centrado en la higiene, la comisión se centró en los edificios, mejorando la ventilación y la gestión de las aguas residuales.

El trabajo de Nightingale la hizo famosa en Gran Bretaña. Poco después de su regreso a Inglaterra en el verano de 1856, la reina Victoria la invitó a Balmoral para discutir sus experiencias en Crimea. Nightingale aprovechó para presionar a favor de la creación de una comisión real para examinar las altas tasas de muertes. ¿Qué es lo que había pasado realmente en Crimea?

Además de contribuir a la comisión, Nightingale continuó con su propia investigación basada en datos hospitalarios. Este trabajo se aceleró tras conocer al estadístico William Farr en una cena ese otoño. Los dos tenían orígenes muy diferentes: Nightingale venía de la clase alta; su nombre era reflejo de su infancia en Toscana, mientras que Farr provenía de una familia pobre del Shropshire rural, y había estudiado Medicina antes de pasarse a la estadística médica. [279]

Para todo lo concerniente a los datos demográficos de la década de 1850, Farr era el experto. Junto con su trabajo sobre brotes como la viruela, había establecido el primer sistema nacional para recabar datos sobre eventos como los nacimientos y las muertes. No obstante, se había dado cuenta de que las estadísticas en bruto podían ser equívocas. El número total de muertes en un área determinada dependería del número de habitantes, así como de factores como la edad: una ciudad con una población envejecida tendría generalmente más muertes anuales que una ciudad llena de jóvenes. Para solventar este problema, Farr desarrolló una nueva medida. En lugar de estudiar las muertes totales, se centró en la tasa de muertes por mil habitantes, controlando por variables como la edad. Esto suponía que podía comparar poblaciones distintas de manera justa. Tal como él mismo afirmó, «la tasa de fallecimientos es un hecho; a partir de ahí, todo es una inferencia». [280]

Trabajando con Farr, Nightingale aplicó estos nuevos métodos a datos de Crimea. Mostró que las tasas de fallecimientos en hospitales militares eran mucho más altas que las de los hospitales en Gran Bretaña. También calculó el descenso de las enfermedades después de que llegasen los comisionados de salud en 1855. Además de generar tablas de datos, se aprovechó de una nueva técnica que estaba aplicando la ciencia victoriana: la visualización de los datos. Economistas, geógrafos e ingenieros usaban cada vez más gráficos y figuras para hacer su trabajo más accesible. Nightingale adaptó estas técnicas, convirtiendo sus resultados más importantes en gráficos de barras y figuras de círculos. Como los mapas de Snow, los gráficos se centraban en las pautas más importantes, libres de distracciones. Eran claros y captaban la atención, ayudando a que su mensaje se propagase.

En 1858, publicó su análisis sobre la salud en el Ejército británico en un libro de ochocientas sesenta páginas. Se enviaron copias a las más importantes personalidades, desde la reina Victoria y el primer ministro hasta los editores de periódicos y jefes de Estado europeos. Ya se centrase en los hospitales o en las comunidades humanas, Nightingale creía que la naturaleza seguía leyes predecibles con respecto a las enfermedades. En su opinión, los desastrosos primeros meses en Crimea se habían producido porque se habían ignorado esas leyes. «La naturaleza es la misma en todas partes, y nunca permite que se pasen por alto sus leyes con impunidad». También era categórica acerca de cuál era la causa del problema. «Las tres

cosas que casi destruyen el ejército en Crimea han sido la ignorancia, la incapacidad y las normas inútiles». [281]

El empeño de Nightingale en promover sus ideas a veces ponía nervioso a Farr. En su opinión, no había que centrarse tanto en los mensajes, sino en los datos. «No queremos provocar impresiones —decía—. Queremos datos». [282] Mientras que Nightingale quería aportar explicaciones de las causas de las muertes, Farr creía que el trabajo de un estadístico era simplemente informar de lo que había sucedido, no especular sobre por qué había sucedido. «Se queja de que su informe será muy árido —le dijo una vez—. Cuanto más árido, mejor. La estadística debe ser la más árida de las lecturas».

Nightingale usó sus escritos para hacer campaña a favor del cambio, pero nunca había querido ser simplemente una escritora. Cuando decidió estudiar Enfermería, en la década de 1840, fue una completa sorpresa para su rica y bien conectada familia, que esperaba que buscase los roles más tradicionales de esposa y madre. Un amigo le sugirió que podría seguir una carrera literaria además de cumplir con esos roles. Nightingale no estaba interesada. «Me preguntas por qué no escribo algo —replicó—. Pienso que los sentimientos se pierden en las palabras; todos deberían ser destilados en acciones, y acciones que produzcan resultados». [283]

Cuando se trata de mejorar la salud, las acciones tienen que basarse en una buena evidencia. Hoy, usamos de manera cotidiana el análisis de datos para mostrar variaciones en la salud, por qué se producen y qué hay que hacer al respecto. Gran parte de este enfoque basado en la evidencia puede retrotraerse a estadísticos como Farr y Nightingale. Tal como ella lo veía, la gente tenía un escaso conocimiento sobre lo que servía para controlar una infección y lo que no. En algunos casos, los hospitales podrían haber incrementado el riesgo de enfermar. En sus propias palabras, «estas instituciones, creadas para aliviar el sufrimiento humano, no saben realmente si lo alivian o no». [284]

La investigación de Nightingale era muy respetada por sus contemporáneos científicos, como el estadístico Karl Pearson. Para el público general, era la «dama de la lámpara», una enfermera que cuidaba de los soldados y lograba atraer simpatía para su causa. Pero Pearson argumentó que la simpatía no era lo que llevaba al cambio; se necesitaban conocimientos de gestión y administración, así como la capacidad de interpretar la información. Y, en su opinión, era ahí donde Nightingale

destacaba. «Florence Nightingale creía —y todas sus acciones a lo largo de su vida se basaron en esa creencia— que un administrador solo tendrá éxito si se guía por el conocimiento estadístico». [285]

Según Carl Bell, un especialista en salud pública de la Universidad de Chicago, se requieren tres cosas para detener una epidemia: una base empírica, un método de implementación y voluntad política. [286] No obstante, cuando se trata de la violencia con armas de fuego, a los Estados Unidos les cuesta cumplir incluso con la primera de las tres. Sus Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC), que normalmente tendrían un papel protagonista en cuestiones de salud pública, han investigado muy poco sobre este problema en las dos últimas décadas.

Sin duda, los Estados Unidos son un caso aparte cuando se trata del control de las armas. En 2010, la probabilidad de que un joven adulto estadounidense muriese en un tiroteo era casi cincuenta veces mayor que sus pares en otros países ricos. Los medios tienden a centrarse en los tiroteos de masas, que a menudo incluyen armas de asalto, pero el problema de las muertes por arma de fuego es mucho más amplio. En 2016, los tiroteos de masas —definidos como aquellos en los que cuatro o más personas son tiroteadas— suponían solo el 3 por ciento de los homicidios por arma de fuego en los Estados Unidos. [287]

Si esto es así, ¿por qué los CDC no han investigado más sobre la violencia con armas de fuego? La razón principal es la Enmienda Dickey de 1996, que estipula que «se prohíbe destinar fondos de los CDC para la prevención y control de heridas o para defender o promover el control de armas de fuego». Llamada así por el congresista republicano Jay Dickey, la enmienda se aprobó después de una serie de desacuerdos sobre la investigación sobre las armas de fuego en los Estados Unidos. En la antesala a la votación, Dickey y sus colegas se habían enfrentado a Mark Rosenberg, director del Centro Nacional para la Prevención y el Control de las Heridas de los CDC. Consideraban que Rosenberg, que codirigía un grupo de investigación sobre las armas de fuego, estaba intentando presentarlas como «una amenaza para la salud pública» (la frase provenía realmente de un periodista de *Rolling Stone* que había entrevistado a Rosenberg sobre la violencia con armas de fuego). [288]

Rosenberg había comparado la investigación sobre las armas de fuego con el progreso realizado en la reducción de las muertes por accidentes de

tráfico, una analogía que más adelante empleó Barack Obama durante su presidencia. «Con más investigación, podríamos mejorar la seguridad en torno a las armas de fuego de la misma manera que con más investigación hemos reducido las víctimas de accidentes de tráfico en los últimos treinta años —dijo Obama en 2016—. Investigamos los daños que puedan causar los coches, la comida, la medicina, incluso los juguetes, para hacerlos más seguros. Y ¿sabéis qué? La investigación y la ciencia son algo bueno. Funcionan». [289]

Los coches se han hecho más seguros, pero la industria era inicialmente renuente a aceptar sugerencias acerca de que sus vehículos necesitaban mejoras. Cuando Ralph Nader publicó su libro de 1965 *Unsafe at Any Speed* (Inseguro a cualquier velocidad), que presentaba pruebas de considerables fallos de diseño, las compañías automovilísticas trataron de difamarlo. Contrataron detectives privados para seguir sus movimientos y a una prostituta para intentar seducirle. [290] Hasta el editor del libro, Richard Grossman, era escéptico sobre su mensaje. Pensaba que sería difícil de comercializar y probablemente no se vendería muy bien. Grossman recordó posteriormente que entonces pensaba que «aunque cada palabra del libro fuese cierta y todo sea tan escandaloso como dice, ¿querrá la gente leer sobre ello?». [291]

Resultó que sí quería. *Unsafe at Any Speed* fue un éxito de ventas, y crecieron las peticiones para que se mejorase la seguridad vial, llevando a la introducción de los cinturones de seguridad y finalmente a elementos como los *airbags* y los frenos antibloqueo (ABS). Aun así, llevó tiempo reunir la evidencia relevante con anterioridad a la aparición del libro de Nader. En la década de 1930, muchos expertos pensaban que salir despedido de un coche durante un accidente era más seguro que quedarse atrapado dentro. [292] Durante décadas, fabricantes y políticos mostraron poco interés en la investigación en seguridad vial. Tras la publicación de *Unsafe at Any Speed* , eso cambió. En 1965, la probabilidad de muerte por cada millón de millas al volante era de un 5 por ciento; en 2014, el riesgo había caído al 1 por ciento.

Antes de morir en 2017, Jay Dickey afirmó que su opinión sobre la investigación sobre armas de fuego había cambiado. Creía que los CDC debían investigar la violencia con armas de fuego. «Tenemos que dejar esto en manos de la ciencia y sacarlo del ámbito de la política», declaró al *Washington Post* en 2015. [293] En los años posteriores a su enfrentamiento

en 1996, Dickey y Mark Rosenberg se habían hecho amigos, habían escuchado los argumentos del otro y encontrado un denominador común en la necesidad de la investigación sobre las armas de fuego. «No sabremos la causa de la violencia con armas de fuego hasta que lo investiguemos», escribirían más adelante en un artículo de opinión conjunto.

A pesar de las constricciones a la financiación, hay cierta evidencia disponible referida a la violencia con armas de fuego. A comienzos de la década de 1990, antes de la Enmienda Dickey, estudios financiados de los CDC descubrieron que tener un arma de fuego en casa incrementaba el riesgo de homicidio y suicidio. Este último descubrimiento era particularmente notable, dado que alrededor de dos terceras partes de las muertes por arma de fuego en los Estados Unidos se deben a suicidios. Aquellos que se oponen a esta investigación han argumentado que esos suicidios se habrían producido de todas maneras, incluso sin armas de fuego. [294] Pero un acceso fácil a métodos letales puede ser importante en lo que a menudo son decisiones impulsivas. En 1998, el Reino Unido pasó de vender paracetamol (Tylenol) en botellas a venderlo en cajas de blísteres de treinta y dos pastillas. En los diez años posteriores a la introducción de estas cajas, las muertes por sobredosis de paracetamol se redujeron en un 40 por ciento; el esfuerzo extra derivado de tener que extraer las pastillas de las cajas de blísteres pareció evitar que la gente tomase demasiadas. [295]

A menos que comprendamos dónde está el riesgo, es muy difícil hacer algo al respecto. Por eso se necesita investigar la violencia. Intervenciones aparentemente obvias podrían tener efectos muy limitados. Al mismo tiempo, políticas como las defendidas por Curemos la Violencia podrían desafiar los enfoques tradicionales, pero tienen el potencial de reducir las muertes relacionadas con armas de fuego. «Como las lesiones por accidentes de tráfico, la violencia existe en un mundo de causas y efectos; las cosas ocurren por razones que se pueden predecir», escribieron Dickey y Rosenberg en 2012. [296] «Si estudiamos las causas de un evento trágico —pero no sin sentido— podemos ayudar a evitar que ocurra otro».

No es solo la violencia con armas de fuego lo que tenemos que entender. Hasta ahora, nos hemos centrado en eventos que ocurren con frecuencia, como los tiroteos o la violencia doméstica, lo que significa que hay —al menos en teoría— muchos datos disponibles. Pero en ocasiones el crimen y la violencia son eventos excepcionales, que se propagan rápidamente y con consecuencias devastadoras.

En la noche del sábado 6 de agosto de 2011, Londres descendió a lo que sería la primera de cinco noches de saqueos, incendios y violencia. Dos días antes, la policía había matado a tiros en Tottenham, en el norte de Londres, a un sospechoso de pertenecer a una banda, provocando unas protestas que derivaron en disturbios y se propagaron por toda la ciudad. También se producirían disturbios en otras ciudades del Reino Unido, desde Birmingham hasta Manchester.

El criminólogo Toby Davies vivía en el distrito londinense de Brixton en ese momento. [297] Aunque no hubo violencia en Brixton la primera noche de los disturbios, acabaría siendo una de las áreas más afectadas. En los meses posteriores a los disturbios, Davies y sus colegas del University College de Londres (UCL) decidieron analizar cómo se desarrollaron esos desórdenes. [298] En lugar de intentar explicar cómo o por qué comienza una revuelta, el equipo de investigadores se centró en qué es lo que ocurre una vez que ha empezado. En su análisis, dividieron los disturbios en tres decisiones básicas. La primera era si una persona participaría o no. Los investigadores asumieron que esto dependía de lo que estaba sucediendo en las cercanías —como en el caso de una enfermedad epidémica— así como en factores socioeconómicos locales. Una vez que alguien decidía participar, la segunda decisión era dónde llevar a cabo los disturbios. Debido a que una gran parte de estos se produjeron en áreas comerciales, los investigadores adaptaron un modelo existente de cómo se mueven los clientes en esos sitios (varios medios describieron los disturbios de Londres como «una forma violenta de ir de compras»). [299] Finalmente, su modelo incluía la posibilidad de ser detenido una vez que una persona llegaba al sitio en el que se estaban produciendo los disturbios. Esto dependía del número relativo de alborotadores y de policía, una métrica a la que Davies denominaba «rebasamiento en número».

El modelo podía reproducir algunas de las pautas más generales observadas en los disturbios de 2011 —como, por ejemplo, que se centrasen en Brixton—, pero también mostraba la complejidad de este tipo de eventos. Davies señaló que el modelo era solo un primer paso; había que trabajar mucho más en esta área de investigación. Un gran desafío era la disponibilidad de datos. El equipo del UCL solo tenía información del número de detenciones por delitos asociados a los disturbios. «Como se puede imaginar, es una submuestra muy pequeña y muy sesgada —me dijo Davies—. No incluye a todos aquellos que podrían potencialmente haber

participado en los disturbios». En 2011, los alborotadores eran igualmente más diversos de lo que cabría esperar, con grupos que habían superado rivalidades locales históricas. Aun así, una de las ventajas de un modelo es que permite explorar situaciones inusuales y respuestas potenciales. Para crímenes frecuentes como el hurto, la policía puede introducir medidas de control, ver qué es lo que ocurre y después refinar su estrategia. No obstante, ese enfoque no es posible en el caso de eventos poco comunes, que solo estallan de vez en cuando. Tal como dijo Davies, «la policía no tiene disturbios todos los días con los que practicar».

Para que comiencen unos disturbios, al menos algunas personas deben estar dispuestas a unirse a ellos. En palabras del criminólogo John Pitts, «no puedes iniciar una revuelta tú solo. Una revuelta de una persona es un berrinche». [300] ¿Cómo crecen unos disturbios a partir de la participación de una sola persona? En 1978, Mark Granovetter publicó un estudio ya clásico que analizaba cómo podían tomar cuerpo los disturbios. Sugirió que las personas tienen diferentes umbrales para las revueltas: un radical podría participar en ellas con independencia de lo que hagan los demás, mientras que un conservador podría rebelarse únicamente si muchos otros también lo hacen. Como ejemplo de ello, Granovetter sugirió que nos imaginásemos un centenar de personas reunidas en una plaza. Una persona tiene un umbral de cero, lo que quiere decir que se rebelará (o cogerá un berrinche) aunque nadie más lo haga; la persona de al lado tiene un umbral de uno, de manera que solo se rebelará si al menos otra persona lo hace; el de al lado tiene un umbral de dos, y así sucesivamente, incrementándose los umbrales en una unidad en cada caso. Granovetter señaló que esa situación llevaría inevitablemente a un efecto dominó: la persona con el umbral de cero empezaría los disturbios, arrastrando a la persona con el umbral de uno, que a su vez arrastraría a la persona con el umbral de dos. La pauta continuaría hasta que todo el mundo estuviese participando en los disturbios.

Pero ¿qué ocurriría si la situación fuese ligeramente diferente? Digamos, por ejemplo, que la persona con un umbral de uno tuviese un umbral de dos. Esta vez, la primera persona empezaría los disturbios, pero no habría nadie más con un umbral lo suficientemente bajo como para seguirle. Aunque la multitud en ambas situaciones sea casi idéntica, el comportamiento de una persona puede suponer la diferencia entre una revuelta y un berrinche. Granovetter sugirió que los umbrales personales

podían aplicarse también a otras formas de comportamiento colectivo, desde hacer huelga hasta abandonar un evento social. [301]

La emergencia del comportamiento colectivo puede también ser relevante para el caso del antiterrorismo. ¿Son los potenciales terroristas reclutados por una jerarquía ya existente, o forman sus propios grupos orgánicamente? En 2016, el físico Neil Johnson encabezó un análisis sobre el crecimiento *online* del apoyo hacia el llamado Estado Islámico. Rastreando las discusiones en las redes sociales, su equipo descubrió que sus seguidores se iban agregando en grupos progresivamente mayores antes de dividirse en grupos más pequeños cuando las autoridades cerraban sus cuentas. Johnson comparó este proceso con un banco de peces dividiéndose y agrupándose en torno a un depredador. A pesar de reunirse en torno a grupos distintos, los seguidores del Estado Islámico no parecían tener una jerarquía consistente. [302] En sus estudios sobre la insurgencia global, Johnson y sus colaboradores han argumentado que estas dinámicas colectivas de los grupos terroristas podrían explicar por qué los atentados grandes son mucho menos frecuentes que los pequeños. [303]

Aunque el estudio de Johnson sobre el Estado Islámico tenía como objetivo entender el ecosistema del extremismo —cómo se forman los grupos, cómo crecen y se disuelven—, los medios preferían centrarse en si podía predecir con precisión los atentados. Desgraciadamente, la predicción está probablemente más allá del alcance de esos métodos. Pero al menos era posible en el artículo de Johnson observar los métodos que empleaba. Según J. M. Berger, un investigador del extremismo de la Universidad George Washington, es raro encontrarse con un análisis del terrorismo tan transparente. Tal como declaró al *New York Times* después de la publicación del estudio, «hay muchas empresas que afirman poder hacer lo que dice este estudio. Y me parece que muchas de ellas venden humo». [304]

Predecir es algo muy complejo. No se trata solo de anticipar el momento en el que se va a producir un atentado terrorista; los Gobiernos también tienen que tener en cuenta el método que van a emplear los terroristas y su potencial impacto. En las semanas posteriores a los atentados del 11 de septiembre de 2001, varios periodistas y miembros del Congreso de los Estados Unidos recibieron cartas que contenían bacterias del ántrax. El resultado fue cinco muertes, y un aumento de la preocupación sobre posibles atentados futuros de bioterrorismo. [305] Se pensaba que una de las

principales amenazas era la viruela. A pesar de haber sido erradicada, había muestras del virus almacenadas en dos laboratorios gubernamentales, uno en los Estados Unidos y otro en Rusia. ¿Qué ocurriría si hubiese otros virus de la viruela almacenados en sitios desconocidos y cayesen en las manos equivocadas?

Mediante modelos matemáticos, varios grupos de investigación trataron de estimar qué pasaría si unos terroristas liberasen el virus en una población humana. La mayoría concluyeron que el brote crecería rápidamente a menos que se llevasen a cabo medidas preventivas. Poco después, el Gobierno de los Estados Unidos decidió ofrecer a medio millón de trabajadores sanitarios la posibilidad de vacunarse contra el virus. Hubo un entusiasmo limitado por el plan: a finales de 2003, menos de cuarenta mil trabajadores habían decidido vacunarse.

En 2006, Ben Cooper, que trabajaba entonces como desarrollador de modelos matemáticos en la Agencia de Protección de la Salud del Reino Unido, escribió un artículo que alcanzó una gran repercusión en el que criticaba los enfoques empleados para evaluar el riesgo asociado a la viruela. Lo tituló «Modelos viruélicos y decisiones precipitadas». Según Cooper, varios modelos incluían asunciones cuestionables, especialmente una en concreto. Según afirmó: «Todos nos sorprendimos cuando el modelo de los Centros para el Control de Enfermedades pasó por alto por completo el seguimiento de los contactos y predijo 77 billones de casos si la epidemia no se controlaba». Sí, ha leído usted bien. A pesar de haber menos de 7.000 millones de personas en el mundo en ese momento, el modelo había asumido que se podía contagiar un número infinito de personas susceptibles, lo que significaba que la transmisión del virus podía continuar indefinidamente. Aunque los investigadores de los CDC reconocieron que habían empleado supuestos muy sencillos en sus proyecciones, era muy raro ver que un estudio sobre un brote hacía una asunción tan espectacularmente alejada de la realidad. [306]

Aun así, una de las ventajas de un modelo simple es que descubrir cuándo —y por qué— está equivocado es generalmente sencillo. Debatir la utilidad de un modelo de ese tipo también es sencillo. Incluso aunque se tenga poca experiencia con las matemáticas, se puede ver cómo los supuestos influyen en los resultados. No tienes que saber cálculo para darte cuenta de que si los investigadores asumen un alto nivel de transmisión de la viruela y un

número ilimitado de personas susceptibles, sus proyecciones pueden llevar a una epidemia irrealmente grande.

A medida que los modelos se hacen más complicados, con muchas características y supuestos distintos, identificar sus fallos se hace más difícil. Esto crea un problema, porque incluso el más sofisticado modelo matemático es una simplificación de una realidad compleja y confusa. Es como construir un tren de juguete. No importa cuántas características se añadan —señales en miniatura, números en los vagones, horarios llenos de retrasos—, sigue siendo un modelo. Podemos usarlo para comprender aspectos de la realidad, pero siempre habrá aspectos en los que el modelo difiera de la situación real. Por otro lado, añadir características adicionales puede que no haga que el modelo represente mejor lo que necesitamos conocer. En la construcción de modelos, siempre hay un riesgo de confundir el detalle con la precisión. Supongamos que en nuestro juguete todos los trenes están conducidos por animales del zoo elaboradamente tallados y pintados. Puede que se trate de un modelo muy detallado, pero no será muy realista. [307]

En su crítica, Cooper señaló que otros modelos de viruela más detallados habían alcanzado conclusiones igualmente pesimistas sobre un potencial gran brote. No obstante, a pesar de los detalles adicionales, los modelos seguían incluyendo una característica poco realista: asumían que la mayor parte de los contagios se producían antes de que las personas desarrollasen el sarpullido característico de la viruela. Los datos reales sugieren que esto no es así: la mayoría de los contagios se producen después de que aparezca el sarpullido. Esto hace que sea mucho más fácil detectar quién está contagiado, y controlar la enfermedad por medio de cuarentenas en lugar de requerir una amplia vacunación.

Desde las enfermedades epidémicas hasta el terrorismo y la delincuencia, las predicciones pueden ayudar a las agencias a planificar y asignar recursos. También pueden ayudar a centrar la atención sobre un problema, persuadiendo a la gente de que hay que asignar recursos a su tratamiento. Un ejemplo destacado al respecto apareció en septiembre de 2014. En medio de la epidemia de ébola que se estaba extendiendo por África Occidental, los CDC anunciaron que podían darse 1,4 millones de casos para enero del año siguiente si no se hacía nada. [308] Visto en términos promocionales al estilo Nightingale, el mensaje fue muy efectivo: el análisis captó la atención del mundo, generando una amplia cobertura en los

medios. Como otros varios estudios que circulaban en esa época, este sugería que se necesitaba una respuesta rápida para controlar la epidemia en África Occidental. Pero la estimación de los CDC pronto recibió críticas por parte de la comunidad de epidemiólogos.

Una de esas críticas se centraba en el propio análisis. El grupo de los CDC que había calculado esa cifra era el mismo que había realizado las estimaciones para el caso de la viruela. Habían empleado un modelo similar, con un número ilimitado de personas susceptibles. Si hubiesen extendido su modelo del ébola hasta abril de 2015, en lugar de hasta enero, habrían estimado alrededor de treinta millones de casos futuros, muchos más que la población combinada de los países afectados. [309] Muchos investigadores cuestionaron la conveniencia de utilizar un modelo muy simple para estimar la propagación del ébola a cinco meses. Yo era uno de ellos. Tal como le dije a un periodista, «los modelos pueden proporcionar información útil sobre cómo se puede propagar el ébola de aquí a un mes más o menos, pero es casi imposible hacer predicciones precisas a más largo plazo». [310]

Para que quede claro, los CDC emplean a muy buenos investigadores, y el modelo del ébola era solo uno de los muchos modelos que desarrollaban. Pero este ejemplo sí que ilustra los desafíos que se generan al producir y comunicar un análisis sobre brotes con gran repercusión mediática. Un problema de las predicciones fallidas es que refuerzan la idea de que los modelos no son particularmente útiles. Y si los modelos producen predicciones incorrectas, ¿por qué habría que prestarles atención?

Nos enfrentamos a una paradoja cuando intentamos predecir los brotes. Mientras que una predicción meteorológica pesimista no afectará al tamaño de una tormenta, las predicciones de brotes sí pueden influir en el número final de casos. Si un modelo sugiere que el brote es una amenaza genuina, puede provocar una respuesta importante por parte de las agencias sanitarias. Y si esto hace que el brote sea controlado, significará que la predicción original será incorrecta. Es por tanto fácil confundir una predicción inútil (sobre un brote que nunca habría ocurrido) con una predicción útil (sobre un brote que habría ocurrido si las agencias sanitarias no hubiesen intervenido). Pueden ocurrir cosas similares en otros campos. Con anterioridad al año 2000, los Gobiernos y las empresas invirtieron cientos de miles de millones de dólares globalmente para contrarrestar el virus del milenio (o Y2K). Originariamente era un elemento diseñado para

ahorrar espacio de almacenamiento en los primeros ordenadores mediante la abreviación de las fechas, pero se había propagado a los sistemas informáticos modernos. Gracias al esfuerzo realizado para solucionar el problema, se consiguió limitar el daño, lo que llevó a muchos medios a quejarse de que el riesgo se había sobrevalorado. [311]

En un sentido estricto, la estimación sobre el ébola que hicieron los CDC evitó este problema porque no era realmente una predicción; era un escenario de entre varios posibles. Mientras que una predicción describe lo que *pensamos* que sucederá en el futuro, un escenario muestra lo que *podría* suceder bajo un conjunto específico de asunciones. La estimación de 1,4 millones de casos asumía que la epidemia continuaría creciendo exactamente al mismo ritmo. Si las medidas de control de la enfermedad se hubieran incluido en el modelo, habría predicho muchos menos casos. Pero una vez que se han seleccionado unas cifras concretas, pueden quedarse grabadas en la memoria, fomentando el escepticismo sobre el tipo de modelos que las han creado. «Recordad el millón de casos de ébola predicho por los CDC en el otoño de 2014 —tuiteó Joanne Liu, presidenta internacional de Médecins Sans Frontières (MSF) en respuesta a un artículo de 2018 sobre predicciones—. Los modelos también tienen sus límites». [312]

Aunque la estimación de 1,4 millones sea solo un escenario, se puede considerar como el escenario base: si nada hubiese cambiado, eso es lo que habría sucedido. Durante la epidemia de 2013-2016, casi treinta mil casos de ébola fueron registrados en Liberia, Sierra Leona y Guinea. ¿Realmente la introducción por parte de las agencias sanitarias occidentales de las medidas de control evitó alrededor de 1,3 millones de casos? [313]

En el campo de la salud pública, la gente a menudo se refiere a las medidas de control de enfermedades como «quitar la palanca del surtidor». Es un guiño al trabajo de John Snow sobre el cólera y a la extracción de la palanca del surtidor de Broad Street. Solo hay un problema con esta analogía: cuando se quitó la palanca del surtidor el 8 de septiembre de 1854, el brote de cólera de Londres ya estaba en declive. Gran parte de las personas de riesgo o bien ya se habían contagiado o habían huido. Si queremos ser precisos, «quitar la palanca del surtidor» debería realmente referirse a una medida de control que es útil en teoría pero que se toma demasiado tarde.

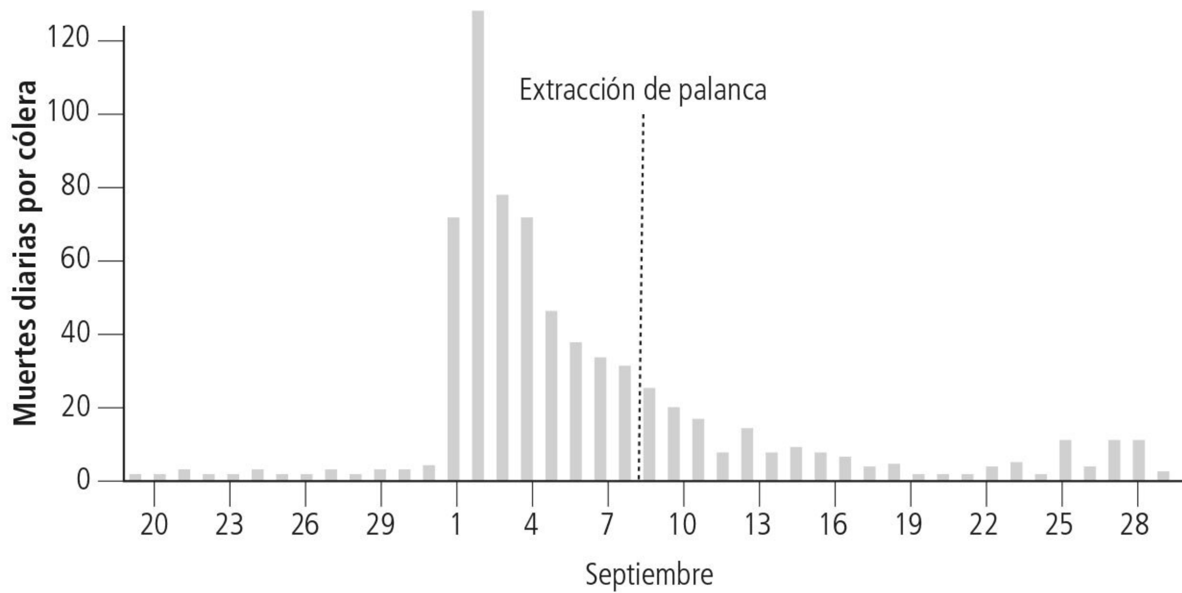


Figura 21. Brote de cólera en el Soho, 1854. Fuente: «Cholera: amend, augment, and aid analysis of John Snow's cholera map», https://cran.r-project.org/web/packages/cholera/index.html.

Para cuando abrieron algunos de los mayores centros de tratamiento del ébola a finales de 2014, el brote ya se estaba ralentizando, si no cayendo precipitadamente. [314] No obstante, en algunas áreas las medidas de control sí que coincidieron con una caída de los casos. Es por tanto complejo establecer el impacto exacto de las medidas. Los equipos de respuesta a menudo introducen varias medidas a la vez, desde buscar los contactos infectados y promover cambios en el comportamiento hasta abrir clínicas y llevar a cabo entierros seguros. ¿Qué efectos tienen realmente los esfuerzos a nivel internacional?

Mediante un modelo matemático de la transmisión del ébola, nuestro grupo de investigación estimó que la introducción de camas de tratamiento adicionales —que aislaban a los casos de la comunidad y como consecuencia reducían la transmisión— evitó alrededor de sesenta mil casos de ébola en Sierra Leona entre septiembre de 2014 y febrero de 2015. En algunos distritos, descubrimos que la expansión de los centros de tratamiento podría explicar la totalidad del descenso de casos; en otras áreas, la evidencia indicaba una reducción adicional en las transmisiones dentro de la comunidad. Esto podría haber sido consecuencia de otros esfuerzos locales e internacionales de control, o quizá de cambios en el comportamiento que ya estaban sucediendo de todas formas. [315]

Los brotes históricos de ébola han mostrado lo importantes que son los cambios en el comportamiento para el control de los brotes. Cuando el primer brote registrado de ébola comenzó en el pueblo de Yambuku, Zaire (ahora República Democrática del Congo), en 1976, la infección se inició en un pequeño hospital local antes de propagarse a la comunidad. Basándonos en datos de archivo de la investigación original del brote, mis colegas y yo estimamos que la tasa de transmisión declinó fuertemente a las pocas semanas de iniciarse el brote. [316] Gran parte de ese declive se produjo antes del cierre del hospital y antes de que llegasen los equipos internacionales. Tal como recordó el epidemiólogo David Heymann, que era parte del equipo de investigación, «las comunidades en las que el brote seguía expandiéndose desarrollaron su propia forma de distancia social». [317] Sin duda, la respuesta internacional al ébola a finales de 2014 y comienzos de 2015 ayudó a evitar casos en África Occidental. Pero, al mismo tiempo, las organizaciones extranjeras deben ser cautas a la hora de atribuirse el mérito del control de esos brotes.

A pesar de los desafíos que implica hacer predicciones, hay una gran demanda de estas. Ya estemos interesados en la propagación de enfermedades infecciosas o de la delincuencia, los Gobiernos y otras organizaciones necesitan datos sobre los que basar sus políticas futuras. De manera que ¿cómo podemos mejorar la predicción de los brotes?

En líneas generales, podemos circunscribir los problemas de las predicciones o bien al modelo mismo o a los datos que incorpora. Una buena regla es que un modelo matemático debería diseñarse en torno a los datos disponibles. Si no tenemos datos acerca de las distintas rutas de transmisión, por ejemplo, deberíamos intentar hacer asunciones simples pero plausibles sobre cómo, en líneas generales, se produce la propagación. Además de hacer que los modelos sean más fáciles de interpretar, este enfoque también simplifica la comunicación de aquello que no se sabe. En lugar de lidiar con un modelo complejo lleno de asunciones ocultas, la gente se podrá concentrar en los procesos fundamentales, incluso aunque no estén muy familiarizados con la interpretación de modelos.

En otros campos distintos al mío, he observado que la gente normalmente responde al análisis matemático de dos maneras. En primer lugar, con recelo. Esto es comprensible: si algo es opaco o no estamos familiarizados con ello, nuestro instinto puede ser desconfiar. Como consecuencia de ello,

el análisis probablemente será ignorado. El segundo tipo de respuesta es la opuesta. En lugar de ignorar los resultados, la gente expresa demasiada fe en estos. Algo opaco y difícil es visto como algo bueno. A menudo he escuchado a la gente sugerir que un análisis matemático es brillante porque nadie es capaz de entenderlo. Desde este punto de vista, «complicado» significa «inteligente». Según el estadístico George Box, no son solo los observadores los que pueden verse seducidos por el análisis matemático. Supuestamente dijo una vez que «los estadísticos, como los artistas, tienen el mal hábito de enamorarse de sus modelos». [318]

Tenemos también que pensar en los datos que introducimos en nuestros análisis. A diferencia de los experimentos científicos, los brotes raramente han sido diseñados: los datos pueden ser engorrosos y contener casos perdidos. Retrospectivamente, podríamos ser capaces de trazar gráficas impolutas con casos que suben y bajan, pero en medio de un brote raramente tenemos esa clase de información. En diciembre de 2017, por ejemplo, nuestro equipo trabajó con MSF para analizar un brote de difteria en un campo de refugiados en Cox's Bazar, Bangladés. Recibíamos una nueva base de datos cada día. Como se tardaba en registrar cada nuevo caso, había cada vez menos datos recientes en cada una de las ba ses de datos: si alguien enfermaba un lunes, generalmente no aparecería en los datos hasta el miércoles o el jueves. La epidemia todavía estaría en marcha, pero los retrasos en los datos hacían que pareciese que casi había terminado. [319]

Aunque los datos de los brotes pueden no ser completamente fiables, eso no quiere decir que no sirvan para nada. Unos datos imperfectos no son necesariamente un problema si sabemos en qué medida son imperfectos y podemos ajustarlos debidamente. Por ejemplo, supongamos que su reloj atrasa una hora. Si no es usted consciente de ello, probablemente le causará problemas. Pero si sabe que está atrasado, puede hacer un ajuste mental y llegar a tiempo adonde sea. Igualmente, si sabemos cuál es el retraso en el registro de los datos durante un brote, podemos ajustar nuestra interpretación de su curva. Este tipo de «predicción inmediata», cuyo objetivo es comprender la situación en tiempo real, es a menudo necesaria antes de que se puedan hacer predicciones.

Nuestra capacidad de realizar predicciones inmediatas depende de cuánto sea el retraso y de la calidad de los datos disponibles. Muchos brotes de enfermedades infecciosas duran semanas o meses, pero otros brotes pueden

producirse en lapsos de tiempo mucho mayores. Tomemos por ejemplo la llamada epidemia de opiáceos en los Estados Unidos, en la que un número creciente de personas se hacían adictas a los analgésicos recetados por su médico, así como a drogas ilegales como la heroína. La sobredosis de droga es ahora la causa principal de muerte de los estadounidenses menores de cincuenta y cinco años. Como resultado de estas muertes adicionales, la esperanza de vida media en los Estados Unidos ha disminuido durante tres años consecutivos, entre 2015 y 2018. La última vez que ocurrió esto fue durante la Segunda Guerra Mundial. A pesar de que algunos aspectos de la crisis son específicos de los Estados Unidos, no es el único país en riesgo de padecerla; el uso de opiáceos también ha aumentado en países como el Reino Unido, Australia y Canadá. [320]



Figura 22. Brote de difteria en Cox's Bazar, Bangladés, 2017-2018. Cada línea muestra el número de nuevos casos diarios, registrados en la base de datos del 9 de diciembre, el 19 de diciembre y el 8 de enero. *Datos* : Finger et al., «Real-time analysis of the diphtheria outbreak in forcibly displaced Myanmar nationals in Bangladesh», *BMC Medicine, 2019* .

Desgraciadamente, estudiar las sobredosis de drogas es difícil porque lleva mucho tiempo certificar que las muertes están relacionadas con las drogas. Las estimaciones preliminares de las muertes por sobredosis en los Estados Unidos en 2018 no se publicaron hasta julio de 2019. [321] Aunque algunos datos locales están disponibles antes, lleva tiempo tener una visión de conjunto de la crisis. En palabras de Rosalie Liccardo Pacula, una economista de la Corporación RAND especialista en políticas públicas,

«siempre estamos mirando al pasado. No somos muy buenos a la hora de ver qué es lo que está pasando ahora mismo». [322]

La crisis de opiáceos en los Estados Unidos ha recibido una atención sustancial en el siglo XXI , pero Hawre Jalal y sus colegas de la Universidad de Pittsburgh sugieren que el problema se retrotrae a mucho antes. Cuando analizaron los datos de 1979 a 2016, descubrieron que el número de muertes por sobredosis en los Estados Unidos creció exponencialmente durante ese periodo; la tasa de fallecimientos se doblaba cada diez años. [323] Incluso cuando se centraban en los datos a nivel estatal (no nacional), encontraban el mismo patrón en muchas áreas. La consistencia de este patrón de crecimiento era sorprendente dado todo lo que había cambiado el consumo de drogas a lo largo de las décadas. Tal como señalaron los investigadores, «este patrón histórico de crecimiento predecible durante al menos treinta y ocho años sugiere que la actual epidemia de opiáceos puede ser la manifestación más reciente de un proceso ya en marcha desde hace tiempo. Este proceso podría seguir este mismo camino varios años más». [324]

Y, no obstante, las muertes por sobredosis solo muestran una parte de la historia. No nos dicen nada sobre los eventos que llevaron a cada fallecimiento; el abuso de las drogas pudo haberse iniciado años antes. Este retardo se produce en la mayor parte de los distintos tipos de brotes. Cuando la gente entra en contacto con una infección, hay normalmente un lapso de tiempo entre estar expuesto y la observación de los efectos de esa exposición. Por ejemplo, durante el ya mencionado brote de ébola en 1976 en Yambuku, las personas que se expusieron al virus normalmente tardaron unos pocos días en enfermar. Para las infecciones que resultaron fatales, hubo de pasar aproximadamente otra semana entre la aparición de la enfermedad y la muerte. Dependiendo de si nos fijamos en los enfermos o en las muertes, obtendremos dos imágenes ligeramente diferentes del brote. Si nos centrásemos en los nuevos casos de enfermos de ébola, diríamos que el brote de Yambuku alcanzó su pico después de seis semanas; si nos basásemos en las muertes, situaríamos el pico una semana después.

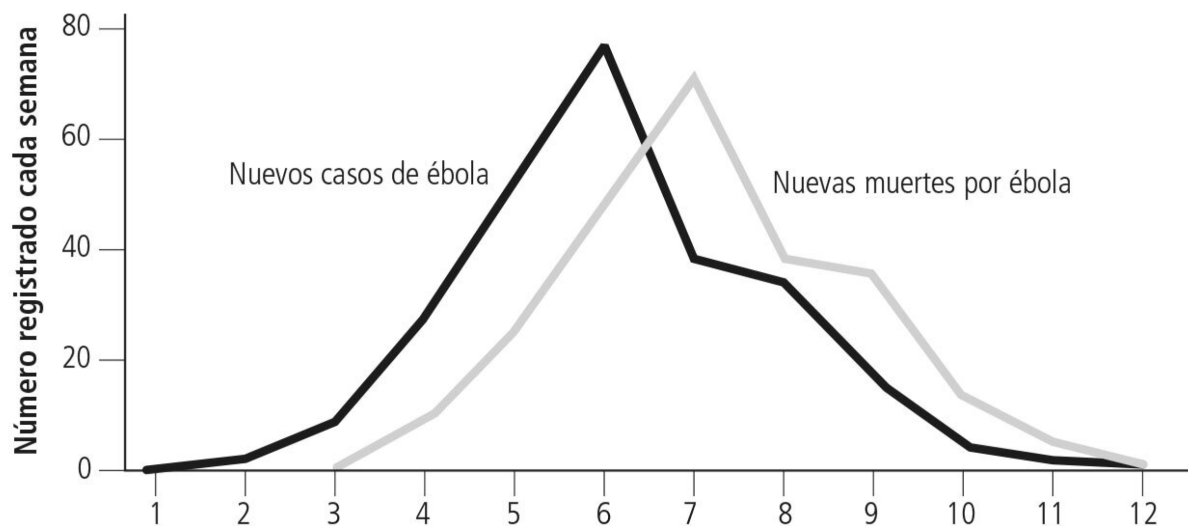


Figura 23. Brote de **ébola** de 1976 en **Yambuku** . Datos: Camacho, A. ***et al.*** , «Potential for large outbreaks of Ebola virus disease», Epidemics, 2014.

Ambos datos son útiles, pero no están midiendo exactamente lo mismo. El recuento de nuevos casos de ébola nos dice lo que está ocurriendo con las personas susceptibles que ya se han contagiado. Después del primer pico, las dos curvas van en dirección opuesta durante más o menos una semana: los casos caen mientras que las muertes siguen ascendiendo.

De acuerdo con Pacula, las epidemias de drogas pueden dividirse en estadios similares. En el estadio inicial de un brote, el número de consumidores se incrementa a medida que más personas se ven expuestas a las drogas. En el caso de los opiáceos, la exposición a menudo comienza con una receta médica. Podría ser tentador culpar simplemente a los pacientes por tomar demasiada medicación, o a los médicos por excederse en sus recetas. Pero también debemos considerar el papel de las compañías farmacéuticas, que venden opiáceos potentes directamente a los médicos. O de las compañías de seguros, que en muchas ocasiones es más probable que financien el consumo de analgésicos en lugar de terapias físicas alternativas. Nuestro moderno estilo de vida también juega un papel, en la medida en que el incremento de los dolores crónicos está asociado con aumentos de la obesidad y el trabajo de oficina.

Una de las mejores formas de ralentizar una epidemia en sus estadios iniciales es reducir el número de personas susceptibles. En el caso de las drogas, esto significa mejorar la educación y la concienciación. Tal como me dijo Pacula, «la educación ha sido muy importante y muy eficaz». Las

estrategias que reducen el suministro de drogas también pueden ayudar en esos estadios iniciales. Dada la multitud de drogas implicadas en la epidemia de opiáceos, esto significa centrarse en todas las rutas potenciales de exposición más que en una medicación específica.

Una vez que el número de nuevos consumidores alcanza un pico, entramos en el estadio intermedio de una epidemia de drogas. En ese momento, todavía hay muchos consumidores, que podrían pasar al uso de drogas más duras y potencialmente de drogas ilegales cuando pierden el acceso a las recetas médicas. Proporcionar tratamientos y prevenir el consumo excesivo pueden ser medidas especialmente efectivas en este estadio. El objetivo es reducir el número global de consumidores, más que centrarse exclusivamente en prevenir nuevas adicciones.

En el estadio final de la epidemia de droga, el número de consumidores nuevos y ya existentes disminuye, pero queda un grupo de consumidores especialmente adictos. Estas son las personas más en riesgo, las que potencialmente han pasado de opiáceos recetados a drogas más baratas como la heroína. [325] Pero la solución no es simplemente acabar con el mercado ilegal de drogas en estos últimos estadios de la epidemia. El problema subyacente de adicción es mucho más profundo y más amplio. En palabras de Paul Cell, presidente de la Asociación Internacional de Jefes de Policía, «los Estados Unidos no pueden salir de la epidemia de opiáceos a base de detenciones». [326] Tampoco es solamente cuestión de retirar el acceso a las drogas recetadas. Según Pacula, «hay un problema adicional, y no solo un problema de opiáceos. Si no proporcionas un tratamiento alternativo cuando retiras las drogas, básicamente les estás animando a que busquen en otros sitios». Añadió además que las epidemias de drogas llevan aparejadas una serie de efectos secundarios. «Incluso si logramos controlar el abuso de opiáceos, persistirán algunas tendencias a largo plazo muy preocupantes a las que no nos hemos enfrentado aún». Una de ellas es el efecto sobre la salud de los consumidores. Cuando la gente pasa de tomar pastillas a inyectarse drogas, se enfrentan al riesgo de infecciones como la hepatitis C y el VIH. Y también hay que considerar el impacto social más amplio —sobre las familias, las comunidades y los trabajos— de tener un gran número de personas adictas a las drogas.

Debido a que el éxito de las distintas estrategias de control puede variar entre los tres estadios de una epidemia de drogas, es crucial saber en qué estadio estamos realmente. En teoría, determinar eso debería ser posible

estimando el número anual de nuevos consumidores, los consumidores ya existentes y los grandes consumidores. Pero la complejidad de la crisis de los opiáceos, con su mezcla de drogas prescritas e ilegales, dificulta distinguir entre estos distintos grupos. Existen algunas fuentes de datos útiles —como las visitas a urgencias y los resultados de los test de drogas asociados a detenciones—, pero esta información cada vez es más difícil de obtener. No podemos trazar un gráfico claro que muestre los distintos estadios del consumo de drogas de la misma manera que lo haríamos con un brote como el de ébola en Yambuku, porque simplemente no tenemos los datos para ello. Es un problema común en los análisis de los brotes: las cosas de las que no se informa son, por definición, difíciles de analizar.

En los estadios iniciales del brote de una enfermedad, los responsables de salud generalmente tienen dos objetivos principales: entender la transmisión y controlarla. Estos objetivos están estrechamente conectados. Si mejoramos nuestra comprensión de cómo se expande algo, podremos poner en práctica medidas de control más efectivas. Podríamos centrarnos en intervenciones sobre grupos de alto riesgo, o identificar otros eslabones débiles en la cadena de transmisión.

La relación también funciona en la otra dirección: las medidas de control pueden influir en nuestra comprensión de la transmisión. Para las enfermedades, como ocurre en el caso del consumo de drogas y la violencia con armas de fuego, las clínicas en muchas ocasiones son nuestras ventanas al brote. Si los sistemas de salud se ven debilitados o saturados, la calidad de los datos que nos llegan se puede ver afectada. Durante la epidemia de ébola en Liberia en agosto de 2014, una base de datos con la que estábamos trabajando sugería que el número de nuevos casos estaba alcanzando una meseta en la capital, Monrovia. En principio esto parecían buenas noticias, pero después nos dimos cuenta de lo que estaba pasando en realidad. La base de datos provenía de una unidad de tratamiento que ya estaba saturada. Los casos registrados habían alcanzado un pico no porque el brote se estuviese ralentizando, sino porque la unidad no podía admitir a más pacientes.

La interacción entre comprensión y control es también importante en el mundo del crimen y la violencia. Si las autoridades quieren conocer dónde están sucediendo los crímenes, tienen que basarse generalmente en los que han sido denunciados. Esto puede resultar problemático para el desarrollo de modelos predictivos. En 2016, la estadística Kristian Lum y el científico

político William Isaac publicaron un estudio acerca de cómo basarse en los casos registrados podía influir en las predicciones. [327] Se centraron en el consumo de drogas en Oakland (California). En primer lugar, reunieron datos de arrestos relacionados con las drogas en 2010, y después emplearon el algoritmo PredPol, una herramienta popular en los Estados Unidos para la policía predictiva. Esos algoritmos son esencialmente mecanismos de traducción, que cogen información sobre un individuo o una localidad y la convierten en una estimación del riesgo de delincuencia. Según los creadores de PredPol, su algoritmo usa solo tres categorías de datos para hacer predicciones: el tipo de crimen, el sitio en el que ocurrió y cuándo ocurrió. No incluye explícitamente ninguna información personal —como la raza o el género— que pudiese sesgar los resultados contra ciertos grupos.

Utilizando el algoritmo PredPol, Lum e Isaac predijeron dónde se esperaría que se hubieran producido delitos relacionados con drogas en 2011. También calcularon la distribución de los delitos relacionados con drogas ese año —incluyendo los que no habían sido denunciados— mediante datos de la Encuesta Nacional sobre Salud y Consumo de Drogas. Si las predicciones de los algoritmos fueran precisas, se esperaría que apuntasen a aquellas áreas donde se habían producido realmente los delitos. En realidad, parecían apuntar fundamentalmente a áreas donde ya se habían producido detenciones. Los investigadores señalaron que esto podría producir un bucle de retroalimentación entre la comprensión y el control de la delincuencia. Tal como me dijo Lum: «Como estas predicciones es probable que sobrerrepresenten áreas ya conocidas por la policía, los responsables policiales probablemente querrán establecer patrullas en esas mismas áreas, con lo que observarán nuevos actos criminales que confirmarán sus creencias previas acerca de la distribución de la actividad criminal». [328]

Algunas personas criticaron el análisis, argumentando que la policía no usaba PredPol para predecir delitos relacionados con drogas. Lum consideró que estas críticas iban algo desencaminadas, porque el objetivo de los métodos de policía predictiva es que las decisiones adoptadas sean más objetivas. «El argumento implícito es que quieres eliminar el sesgo humano del sistema». Si las predicciones reflejan el comportamiento policial existente, los sesgos persistirán, ocultos detrás del velo de un algoritmo supuestamente objetivo. «Cuando lo alimentas de datos que son

generados por el mismo sistema que hace que las minorías estén más expuestas a ser detenidas por el mismo comportamiento, lo único que lograrás es perpetuar los mismos problemas —añadió—. Sigues teniendo los mismos problemas, pero ahora los tienes filtrados a través de esta herramienta de alta tecnología».

Los algoritmos sobre delincuencia tienen más limitaciones de lo que la gente podría pensar. En 2013, investigadores de la Corporación RAND enumeraron cuatro mitos comunes sobre la policía predictiva. [329] El primero es que un ordenador sabe exactamente lo que ocurrirá en el futuro. «Estos algoritmos predicen el riesgo de eventos futuros, no los eventos mismos», señalaron. El segundo mito es que un ordenador lo hará todo, desde reunir los datos relevantes sobre delincuencia hasta realizar las recomendaciones apropiadas. En realidad, los ordenadores funcionan mejor cuando ayudan al análisis humano y a las decisiones sobre política policial, en lugar de sustituirlas. El tercer mito era que las fuerzas policiales necesitaban un modelo muy potente para hacer buenas predicciones, mientras que a menudo el problema es obtener los datos correctos. Tal como dijo Lum, «en ocasiones tienes una base de datos donde la información que necesitas para hacer la predicción simplemente no está».

El mito final, y quizá el más persistente de todos, era que unas predicciones correctas llevan automáticamente a una reducción de la delincuencia. «Las predicciones por sí solas son solo eso: predicciones —escribió el equipo de investigadores de la RAND—. La disminución real de la delincuencia requiere actuar basándose en esas predicciones». Para controlar la delincuencia, las agencias necesitan, por tanto, centrarse en las intervenciones y la prevención más que simplemente en hacer predicciones.

Esto también es así en el caso de otros brotes. Según Chris Whitty, que es en la actualidad el director médico para Inglaterra, los mejores modelos matemáticos no son necesariamente los que intentan realizar predicciones precisas sobre el futuro. Lo que importa es tener análisis que puedan revelar los problemas de comprensión de una situación. Whitty sugiere que «los modelos son generalmente más útiles cuando identifican el impacto de las decisiones políticas que no son predecibles apelando al sentido común. La clave es normalmente no que sean "correctas", sino que proporcionen evidencias e ideas que, de lo contrario, habrían pasado desapercibidas». [330]

En 2012, la policía de Chicago introdujo la Lista Estratégica de Personas (SSL, por sus siglas en inglés) para predecir quién podría verse envuelto en un tiroteo. El proyecto estuvo en parte inspirado por el trabajo de Andrew Papachristos sobre redes sociales y violencia con armas de fuego en la ciudad, aunque Papachristos se ha desvinculado de la SSL. [331] La lista está basada en un algoritmo que atribuye una puntuación de riesgo para ciertos habitantes de la ciudad. Según sus creadores, la SSL no incluye explícitamente factores como el género, la raza o la ubicación. No obstante, durante varios años no estaba muy claro qué era lo que incluía. Presionado por el *Chicago-Sun Times* , el Departamento de Policía de Chicago finalmente hizo públicos los datos de la SSL en 2017. La base de datos contenía la información que se empleaba en el algoritmo —como la edad, la pertenencia a bandas y las detenciones previas— así como las puntuaciones de riesgo que generaba. Los investigadores pensaron que hacerlo público era algo positivo. En opinión de Brianna Posadas, miembro de la organización para la justicia social Upturn, «es increíblemente raro —y valioso— ver que se hacen públicos los datos empleados en un sistema de policía predictiva». [332]

Había unas cuatrocientas mil personas en la base de datos completa de la SSL, de las cuales casi 290.000 eran consideradas de alto riesgo. Aunque el algoritmo no incluía explícitamente la raza como variable, había una notable diferencia entre grupos: alrededor de la mitad de los hombres negros de veintitantos años en Chicago tenían una puntuación en la SSL, frente a un 6 por ciento de los hombres blancos. Había también muchas personas que no tenían un vínculo claro con los crímenes violentos, incluidos unos noventa mil individuos de «alto riesgo» que nunca habían sido detenidos ni habían sido víctimas de un delito. [333]

Esto plantea la cuestión de qué hacer con esas puntuaciones. ¿Debería la policía vigilar a individuos que no han tenido ninguna relación previa con la violencia? Recordemos que los estudios de redes de Papachristos en Chicago se centraban en las víctimas de la violencia con armas de fuego, no en los perpetradores; el objetivo de esos análisis era ayudar a salvar vidas. «Uno de los peligros inherentes a las iniciativas policiales es que, en algún momento, todos esos esfuerzos acaban centrándose en los delincuentes», escribió Papachristos en 2016. [334] Argumentó que los datos tienen un papel importante en la prevención del crimen, pero la reunión y el análisis de los datos no puede ser solo una tarea policial. «El potencial real de los

análisis de datos en la identificación de aquellos en riesgo de ser víctimas de la violencia con armas de fuego no está tanto en la labor policial como en un enfoque más amplio de salud pública». En su opinión, para predecir quién puede ser una víctima se necesitaría tener en cuenta el trabajo de colectivos como los trabajadores sociales, los psicólogos y los interruptores de violencia.

El éxito en la reducción de la delincuencia puede producirse de varias maneras. En 1980, por ejemplo, Alemania Occidental hizo obligatorio el uso del casco en motocicletas. En los siguientes seis años, los robos de motocicletas cayeron en dos terceras partes. La razón era simple: la comodidad. Los ladrones ya no podían decidir robar una motocicleta en el calor del momento. Tenían que planear el robo y llevar consigo un casco. Unos pocos años después, Holanda y Gran Bretaña introdujeron leyes similares. En ambos casos también se produjo una caída masiva en los robos, lo que demostraba cómo las normas sociales pueden influir en las tasas de delincuencia. [335]

Una de las ideas más conocidas acerca de cómo el entorno influye sobre la delincuencia es la teoría de las «ventanas rotas». Propuesta por James Wilson y George Kelling en 1982, la idea era que pequeños ejemplos de desórdenes —como las ventanas rotas— podían propagarse y crecer hasta convertirse en crímenes más graves. La solución, por tanto, era restaurar y mantener el orden público. La teoría de las ventanas rotas se hizo muy popular entre las fuerzas policiales, especialmente en la ciudad de Nueva York en la década de 1990, donde inspiró una decidida lucha contra pequeños delitos como colarse en el metro. Estas medidas coincidieron con una caída masiva de la criminalidad en la ciudad, lo que llevó a la idea de que las detenciones por delitos menores habían frenado los grandes delitos. [336]

No todo el mundo se sentía cómodo con la forma en la que se había adoptado la teoría de las ventanas rotas. Uno de ellos era el propio Kelling. Según él, la noción original de las ventanas rotas se refería al orden social, no a las detenciones. Pero la definición de lo que es desorden público puede depender de la perspectiva adoptada. ¿Están esas personas merodeando o esperando a un amigo? ¿Está esa pared cubierta de grafitis o de arte callejero? Kelling sugirió que la política policial de las ventanas rotas no era tan simple como decirles a los agentes de policía que restaurasen el orden en una determinada área. Tal como dijo en 2016, «cualquier

responsable público que realmente quiera mantener el orden tiene que ser capaz de responder satisfactoriamente a la pregunta: "¿Por qué decides detener a una persona que está orinando en la vía pública y no lo haces con otros comportamientos?". Si no puedes responder a esa pregunta, si dices simplemente: "Bueno, es de sentido común", es para preocuparse». [337]

Por otro lado, no está claro que el énfasis en el castigo de los delitos menores sea la razón principal de la disminución de la delincuencia en Nueva York en la década de 1990. No hay muchas pruebas de que la reducción del crimen en Nueva York haya sido el resultado directo de la política policial de las ventanas rotas. Muchas otras ciudades de los Estados Unidos también experimentaron una caída de la criminalidad durante ese periodo, a pesar de usar estrategias policiales diferentes. Por supuesto, esto no quiere decir que la política policial de las ventanas rotas no tenga ningún efecto. La evidencia demuestra que la presencia de cosas como grafitis y carros de la compra abandonados puede aumentar la probabilidad de que la gente arroje desperdicios a la calle o cometa infracciones. [338] Esto sugiere que los delitos menores generarán otros delitos menores. El efecto también parece funcionar en sentido contrario: los intentos de restaurar el orden —como recoger la basura— pueden llevar a que otros decidan adecentar su entorno. [339] Pero es un salto quizá demasiado grande el que media entre esos resultados y la conclusión de que las detenciones por delitos menores pueden explicar una caída masiva de la violencia.

Si esto es así, ¿qué es lo que causó esa caída entonces? El economista Steven Levitt argumentó que la liberalización del aborto a partir de 1973 tuvo algo que ver. Su teoría afirma que a partir del inicio de esa década nacieron menos niños no deseados, unos niños que habrían tenido una mayor probabilidad de ser delincuentes cuando creciesen. Otros culpan a la exposición durante la infancia a la gasolina y la pintura con plomo a mediados del siglo XX : cuando el nivel de exposición disminuyó, también lo hizo la delincuencia. De hecho, una revisión reciente de la literatura mostró que los académicos han proporcionado un total de veinticuatro explicaciones distintas del declive de la delincuencia en los Estados Unidos durante la década de 1990. [340] Estas teorías han atraído mucha atención —así como muchas críticas—, pero todos los investigadores implicados han reconocido que es una cuestión complicada. En realidad, la caída de la delincuencia fue probablemente el resultado de una combinación de factores. [341]

Este es un problema común con los brotes que se producen en lapsos de tiempo largos. Si intervenimos de alguna manera, tendremos que esperar bastante para ver si nuestras medidas han tenido algún efecto. Mientras tanto, se pueden estar produciendo muchos otros cambios, lo que dificulta el hecho de medir exactamente hasta qué punto nuestra intervención ha funcionado. Igualmente, puede ser más fácil centrarse en los efectos inmediatos de un evento violento que investigar los daños a largo plazo. Charlotte Watts ha señalado que la violencia doméstica puede ser transmitida entre generaciones, dado que los niños afectados por esta pueden reproducirla de adultos. No obstante, estos mismos niños pueden en muchas ocasiones ser pasados por alto cuando se discuten las in tervenciones que llevar a cabo. Tal como señaló durante nuestra entrevista de 2018, «necesitamos pensar sobre cómo apoyar a los niños que crecen en familias donde hay violencia doméstica».

Históricamente ha sido difícil analizar la transmisión intergeneracional dados los lapsos temporales que ello implica. Aquí es donde pueden ayudar los métodos de salud pública, tal como sugiere la epidemióloga Melissa Tracy, porque los investigadores tienen experiencia en el análisis de las condiciones a corto plazo. «Este es el punto fuerte de la epidemiología, el introducir esa perspectiva de ciclo de vida». [342]

Usar enfoques de salud pública para prevenir el crimen sería enormemente eficiente, tanto en los Estados Unidos como en otros sitios. Sumando las consecuencias sociales, económicas y judiciales de un asesinato medio en los Estados Unidos, un estudio ha calculado que el coste de un solo asesinato es de alrededor de diez millones de dólares. [343] El problema es que las soluciones más efectivas podrían no ser aquellas con las que la gente se siente más cómoda. ¿Queremos sentir que estamos castigando a los malos, o queremos menos delincuencia? Tal como me dijo Charlie Ransford, de Curemos la Violencia, «cuando se trata de cambiar el comportamiento, las amenazas y los castigos no son tan efectivos». Aunque el castigo podría tener algún impacto, Ransford sugiere que otros enfoques generalmente funcionan mejor. En su opinión, «lo que al final resulta más efectivo para cambiar el comportamiento de las personas es cuando te sientas con ellas e intentas escucharlas, que expresen sus quejas y realmente intentes entenderlas. Y después guiarlas a una forma más sana de comportamiento».

Proyectos como Curemos la Violencia se han centrado históricamente en interacciones cara a cara, pero los contactos sociales *online* también están influyendo crecientemente en la propagación de la violencia. Según Ransford: «El contexto ha cambiado. Esto requiere ajustarse a ese cambio. Ahora estamos reclutando trabajadores especializados en rastrear las redes sociales para buscar conflictos a los que podamos responder».

Cuando nos enfrentamos al crimen y la violencia, es útil comprender cómo las personas se relacionan entre sí. Lo mismo se puede decir de los brotes; hemos visto cómo los contactos en la vida real pueden impulsar el contagio en el caso de fenómenos que van desde el tabaquismo y el bostezo hasta las enfermedades infecciosas y la innovación. Pero la influencia ejercida por las relaciones *online* no es necesariamente la misma que la de los encuentros cara a cara. En opinión de Watts: «Si piensas en el contagio de las opiniones sobre la aceptabilidad de la violencia, el alcance puede ser mucho mayor, pero el número de personas que pasa a la acción podría ser más pequeño».

Es este un problema en el que están interesadas muchas industrias. No obstante, normalmente no están interesadas en controlar el contagio. En el caso de los brotes *online* , la preocupación por la transmisión va normalmente en la dirección opuesta. Quieren que las cosas se propaguen.

---

[247] Información y notas de una entrevista del autor con Gary Slutkin, abril de 2018.

[248] Fuente: Bentle, K. *et al.* , «39,000 homicides: retracing 60 years of murder in Chicago», *Chicago Tribune* , 9 de enero de 2018; Illinois State Fact Sheet, Children's Safety Network, National Injury and Violence Prevention Resource Center, 2015, www.childrenssafetynetwork.org/sites/childrenssafetynetwork.org/files/Illinois%202015%20State%20Fact%Sheet.pdf.

[249] Slutkin, G., «Treatment of violence as an epidemic disease», en «John Snow's legacy: epidemiology without borders», Fine, P. *et al.* , número especial, *The Lancet* , 2013.

[250] Información sobre el trabajo de John Snow sobre el cólera: Snow, J., *On the Mode of Communication of Cholera* , Londres, 1855; Tulodziecki, D., «A case study in explanatory power: John Snow's conclusions about the pathology and transmission of cholera», *Studies in History and Philosophy of Science* , 2011 (fuente de la cita de Wakley); Hempel, S., «John Snow», *The Lancet* , 2013; Brody, H. *et al.* , «Map-making and muth-making in Broad Street: the London cholera epidemic, 1854», *The Lancet* , 2000.

[251] Razones de la abstracción: Seuphor, M., *Piet Mondrian: Life and Work* , Nueva York: Abrams, 1956; Tate Modern, «Five ways to look at Malevich's Black Square», consultado el 27 de enero de 2020, www.tate.org.uk/art/artists/kazimir-malevich-1561/five-ways-look-malevichs-black-square.

[252] Información sobre el cólera: Locher, W. G., «Max von Pettenkofer (1818-1901) as a a pioneer of modern hygiene and preventive medicine», *Environmental Health and Preventive Medicine* , 2007; Morabia, A., «Epidemiologic interactions, complexity, and the lonesome death of Max von Pettenkofer», *American Journal of Epidemiology* , 2007.

[253] García-Moreno, C. *et al.* , *WHO Multi-Country Study on Women's Health and Domestic Violence Against Women* , OMS, 2005.

[254] Citas de una entrevista del autor con Charlotte Watts, mayo de 2018.

[255] Información sobre los factores que influyen en el contagio de la violencia: Patel, D. M. *et al.* , *Contagion of Violence: Workshop Summary* , Washington D. C.: National Academies Press, 2012.

[256] Gould, M. S. *et al.* , «Suicide clusters: a critical review», *Suicide and Life-Threatening Behavior* , 1989.

[257] Cheng, Q. *et al.* , «Suicide contagion: a systematic review of definitions and research utility», *PLOS ONE* , 2014.

[258] Phillips, D. P., «The influence of suggestion on suicide: substantive and theoretical implications of the Werther effect», *American Sociological Review* , 1974.

[259] Programa de Acción para Superar las Brechas en Salud Mental de la OMS, «Is responsible and deglamourized media reporting effective in reducing deaths from suicide, suicide attempts and acts of self-harm?», 2015, www.who.int/mental_ health/mhgap/evidence/resource/suicide_q9.pdf?ua=1.

[260] Fink, D. S. *et al.* , «Increase in suicides the months after the death of Robin Williams in the US», *PLOS ONE* , 2018.

[261] Towers, S. *et al.* , «Contagion in mass killings and school shootings», *PLOS ONE* , 2015.

[262] Brent, D. A. *et al.* , «An outbreak of suicide and suicidal behavior in a high school», *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry* , 1989.

[263] Aufrichtig, A. *et al.* , «Want to fix gun violence in America? Go local», *The Guardian* , 9 de enero de 2017.

[264] Fragmentos de una entrevista del autor con Charlie Ransford, abril de 2018.

[265] Confino, J., «Guardian-supported Malawi sex workers' project secures funding from comic relief», *The Guardian* , 9 de junio de 2010.

[266] Bremer, S., «10 shot, 2 fatally, at vigil in Chicago's Southwest Side», NBC Chicago, 7 de mayo de 2017, www.nbcchicago.com/news/national-international/2-killed-5-wounded-mass-shooting-chicago-brighton-park/13911/.

[267] Tracy, M. *et al.* , «The transmission of gun and other weapon-involved violence within social networks», *Epidemiologic Reviews* , 2016.

[268] Green, B. *et al.* , «Modeling contagion through social networks to explain and predict gunshot violence in Chicago, 2006 to 2014», *JAMA Internal Medicine* , 2017.

[269] Ajustando una distribución binomial negativa a la distribución a nivel de concentración de casos de Green *et al.* obtuve una estimación de máxima verosimilitud para el parámetro de dispersión k = 0,096 (método tomado de Blumberg, S. y J. O. Lloyd-Smith, *PLOS Computational Biology* , 2013). Por comparación, el MERS-CoV tenía una R = 0,63 y k = 0,25 (a partir de Kucharski, A. J. y C. L. Althaus, «The role of superspreading in Middle East respiratory syndrome coronavirus [MERS-CoV] transmission», *Eurosurveillance* , 2015).

[270] Fenner, F. *et al.* , *Smallpox and Its Eradication* , Ginebra: OMS, 1988.

[271] Evaluación de los métodos de interrupción de la violencia: Skogan, W. G. *et al.* , *Evaluation of CeaseFire-Chicago* , informe del Departamento de Justicia de los Estados Unidos, marzo de 2009; Webster, D. W. *et al.* , *Evaluation of Baltimore's Safe Streets Program* , informe de la Universidad Johns Hopkins, enero de 2012; Thomas, R. *et al.* , *Investing in Intervention: The Critical Role of State-Level Support in Breaking the Cycle of Urban Gun Violence* , informe del Giffords Law Center, 2017.

[272] Ejemplos de críticas a Curemos la Violencia: Page, C., «The doctor who predicted Chicago's homicide epidemic», *Chicago Tribune* , 30 de diciembre de 2016; «We need answers on anti-violence program», editorial, *Chicago Sun Times* , 1 de julio de 2014.

[273] Patel *et al.* , *Contagion of Violence* .

[274] Fuentes: Seenan, G., «Scotland has second highest murder rate in Europe», *The Guardian* , 26 de septiembre de 2005; Henley, J., «Karyn McCluskey: the woman who took on Glasgow's gangs», *The Guardian* , 19 de diciembre de 2011; Ross, P., «No mean citizens: the success behind Glasgow's VRU», *The Scotsman* , 24 de noviembre de 2014; Geoghegan, P., «Glasgow smiles: how the city halved its murders by "caring people into change"», *The Guardian* , 6 de abril de 2015; Unidad Escocesa de Reducción de la Violencia, *10 Year Strategic Plan* , 2017, http://actiononviolence.org/sites/default/files/10%20YEAR%20PLAN_0.PDF.

[275] Adam, K., «Glasgow was once the "murder capital of Europe". Now it's a model for cutting crime», *Washington Post* , 27 de octubre de 2018.

[276] No hay evaluaciones formales de cada uno de los aspectos del programa de la Unidad de Reducción de la Violencia, pero algunos de sus componentes sí han sido evaluados: Williams, D. J. *et al.* , «Addressing gang-related violence in Glasgow: a preliminary pragmatic quasi-experimental evaluation of the Community Initiative to Reduce Violence (CIRV)», *Agression and Violent Behavior* , 2014; Goodall, C. *et al.* , *Navigator: A Tale of Two Cities: 12-Month Report* , 2017, http://actiononviolence.org/sites/default/files/Navigator%2012%20month%20report%20%282%29.pdf.

[277] Ayuntamiento de Londres, «Mayor launches new public health approach to tackling serious violence», nota de prensa, 19 de septiembre de 2018; Bulman, M., «Woman who helped dramatically reduce youth murders in Scotland urges London to treat violence as a "disease"», *The Independent* , 5 de abril de 2018.

[278] Fuentes sobre el trabajo de Nightingale en Crimea: Gill, C. J. y G. C. Gill, «Nightingale in Scutari: her legacy reexamined», *Clinical Infectious Diseases* , 2005; Nightingale, F., *Notes on Matters Affecting the Health, Efficiency, and Hospital Administration of the British Army: Founded Chiefly on the Experience of the Late War* , Londres, 1858; Magnello, M. E., «Victorian statistical graphics and the iconography of Florence Nightingale's polar area graph», *Journal of the British Society for the History of Mathematics Bulletin* , 2012.

[279] Nelson, S. y A. M. Rafferty, *Notes on Nightingale: The Influence and Legacy of a Nursing Icon* , Ithaca (Nueva York): Cornell University Press, 2012.

[280] Información sobre Farr: Lilienfeld, D. E., «Celebration: William Farr (1807-1883)—an appreciation on the 200th anniversary of his birth», *International Journal of Epidemiology* , 2007; Humphreys, N. A., *Vital Statistics: A Memorial Volume of Selections from the Reports and Writings of William Farr* , Londres: The Sanitary Institute of Great Britain, 1885.

[281] Nightingale, F., *A Contribution to the Sanitary History of the British Army During the Late War with Russia* , Londres, 1859.

[282] Citado en Diamond, M. y M. Stone, «Nightingale on Quetelet», *Journal of the Royal Statistical Society A* , 1981.

[283] Cook, E., *The Life of Florence Nightingale* , Londres: Macmillan, 1913.

[284] Citado en MacDonald, L., *Florence Nightingale on Society and Politics, Philosophy, Science, Education and Literature* , Waterloo (Canadá): Wilfrid Laurier University Press, 2003.

[285] Pearson, K., *The Life, Letters and Labours of Francis Galton* , Londres: Cambridge University Press, 1914.

[286] Patel *et al.* , *Contagion of Violence.*

[287] Estadísticas tomadas de Grinshteyn, E. y D. Hemenway, «Violent death rates: the US compared with other high-income OECD countries, 2010», *American Journal of Medicine* , 2016; Koerth-Baker, M., «Mass shootings are a bad way to understand gun violence», FiveThirtyEight, 3 de octubre de 2017, https://fivethirtyeight.com/features/mass-shootings-are-a-bad-way-to-understand-gun-violence/.

[288] Thompson, B., «The science of violence», *Washington Post* , 29 de marzo de 1998; Wilkinson, F., «Gunning for guns», *Rolling Stone* , 9 de diciembre de 1993.

[289] Citado en Cillizza, C., «President Obama's amazingly emotional speech on gun control», *Washington Post* , 5 de enero de 2016.

[290] Borger, J., «The guardian profile: Ralph Nader», *The Guardian* , 22 de octubre de 2004.

[291] Jensen, C., «50 years ago, "Unsafe at Any Speed" shook the auto world», *New York Times* , 26 de noviembre de 2015.

[292] Kelly, K., «Car safety initially considered "undesirable" by manufacturers, the government and consumers», *Huffington Post,* 4 de diciembre de 2012, www.huffpost.com/entry/car-safety-initially-cons_b_2232183.

[293] Frankel, T. C., «Their 1996 clash shaped the gun debate for years. Now they want to reshape it», *Washington Post* , 30 de diciembre de 2015.

[294] Kates, D. B. *et al.* , «Public health pot shots», *Reason* , abril de 1997.

[295] Turvill, J. L. *et al.* , «Change in occurrence of paracetamol overdose in UK after introduction of blister packs», *The Lancet* , 2000; Hawton, K. *et al.* , «Long-term effects of reduced pack sizes of paracetamol on poisoning deaths and liver transplant activity in England and Wales: interrupted time series analyses», *British Medical Journal* , 2013.

[296] Dickey, J. y M. Rosenberg, «We won't know the cause of gun violence until we look for it», *Washington Post* , 27 de julio de 2012.

[297] Información y citas de una entrevista del autor con Toby Davies, agosto de 2017.

[298] Davies, T. P. *et al.* , «A mathematical model of the London riots and their policing», *Scientific Reports* , 2013.

[299] Por ejemplo: Myers, P., «Staying streetwise», Reuters, 8 de septiembre de 2011, www.reuters.com/article/idUS7016587972011816.

[300] Citado en De Castella, T. y C. McClatchey, «UK riots: what turns people into looters?», BBC.com, 9 de agosto de 2011, www.bbc.com/news/magazine-14463452.

[301] Granovetter, M., «Threshold models of collective behavior», *American Journal of Sociology* , 1978.

[302] Johnson, N. F. *et al.* , «New online ecology of adversarial aggregates: ISIS and beyond», *Science* , 2016; Wolchover, N., «A physicist who models ISIS and the alt-right», *Quanta*

Magazine , 23 de agosto de 2017.

[303] Bohorquez, J. C. *et al.* , «Common ecology quantifies human insurgency», *Nature* , 2009.

[304] Belluck, P., «Fighting ISIS with an algorithm, physicists try to predict attacks», *New York Times* , 16 de junio de 2016.

[305] Cronología: «How the anthrax terror unfolded», National Public Radio (NPR), 15 de febrero de 2011, www.npr.org/2011/02/15/93170200/timeline-how-the-anthrax-terror-unfolded.

[306] Cooper, B., «Poxy models and rash decisions», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* , 2006; Meltzer, M. I. *et al.* , «Modelling potential responses to smallpox as a bioterrorist weapon», *Emerging Infectious Diseases* , 2001.

[307] He visto emplear el ejemplo del tren de juguete en unos pocos campos (por ejemplo, por Emanuel Derman en el campo de las finanzas), pero el reconocimiento en este caso se lo debo a mi viejo colega Ken Eames, que lo ha usado de una manera de lo más efectiva en sus conferencias sobre modelos de enfermedades.

[308] Meltzer, M. I. *et al.* , «Estimating the future number of cases in the Ebola epidemic: Liberia and Sierra Leone, 2014-2015», *Morbidity and Mortality Weekly Report* , 2014.

[309] El modelo exponencial de los CDC estimó que los casos se triplicarían cada mes. Por tanto, una predicción que incluyese tres meses adicionales habría estimado veintisiete veces más casos que en enero. La población combinada de Sierra Leona, Liberia y Guinea es de alrededor de veinticuatro millones.

[310] «Expert reaction to CDC estimates of numbers of future Ebola cases», *Science Media Centre* , 24 de septiembre de 2014, www.sciencemediacentre.org/expert-reaction-to-cdc-estimates-of-numbers-of-future-ebola-cases/.

[311] Hughes, M., «Developers wish people would remember what a big deal Y2K bug was», *The Next Web* , 26 de octubre de 2017, https://thenextweb.com/dd/2017/10/26/developers-wish-people-remember-big-deal-y2k-bug/; Schofield, J., «Money we spent», *The Guardian* , 5 de enero de 2000.

[312] @DreJoanneLiu, tuit, 15 de enero de 2018, https://twitter.com/JoanneLiu_MSF/status/952834207667097600.

[313] En el análisis de los CDC, los casos fueron multiplicados por 2,5 para tener en cuenta los casos no registrados. Si aplicamos el mismo factor a los casos registrados, esto sugiere que hubo alrededor de 75.000 contagios en realidad, una diferencia de 1,33 millones con respecto a la predicción de los CDC. La sugerencia de que el modelo de los CDC con intervenciones de las agencias sanitarias podría explicar el brote es de Frieden, T. R. e I. K. Dalton, «Ebola in West Africa: CDC's role in epidemic detection, control, and prevention», *Emerging Infectious Diseases* , 2015.

[314] Onishi, N., «Empty Ebola clinics in Liberia are seen as misstep in US relief effort», *New York Times* , 2015.

[315] Kucharski, A. J. *et al.* , «Measuring the impact of Ebola control measures in Sierra Leone», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* , 2015.

[316] Camacho, A. *et al.* , «Potential for large outbreaks of Ebola virus disease», *Epidemics* , 2014.

[317] Heymann, D. L., «Ebola: transforming fear into appropriate action», *The Lancet* , 2017.

[318] Una cita atribuida a Box por todo el mundo, pero sin fuente primaria.

[319] A comienzos de diciembre, el retraso medio era de dos o tres días. Fuente: Finger, F. *et al.* , «Real-time analysis of the diphtheria outbreak in forcibly displaced Myanmar nationals in

Bangladesh», *BMC Medicine* , 2019.

[320] Estadísticas tomadas de Katz, J. y M. Sanger-Katz, «“The numbers are so staggering”. Overdose deaths set a record last year», *New York Times* , 29 de noviembre de 2018; Ahmad, F. B. *et al.* , «Provisional drug overdose death counts», National Center for Health Statistics, 2018; Felter, C., «The US opioid epidemic», Council on Foreign Relations, 26 de diciembre de 2017; «Opioid painkillers “must carry prominent warnings», BBC.com, 28 de abril de 2019, www.bbc.com/news/health-48082736.

[321] Goodnough, A., J. Kartz y M. Sanger-Katz, «Drug overdose deaths drop in U.S. for first time since 1990», *New York Times* , 17 de julio de 2019.

[322] La información y las citas sobre el análisis de la crisis de opiáceos están tomadas de una entrevista del autor con Rosalie Liccardo Pacula de mayo de 2018. Detalles adicionales en Pacula, R. L., «Funding considerations in the fight against the opioid epidemic: what the science tells us», testimonio presentado ante el Comité de Asignaciones de la Cámara de Representantes, Subcomité sobre Trabajo, Servicios de Salud, Educación y Agencias Relacionadas, 5 de abril de 2017.

[323] Crecimientos exponenciales en la tasa de fallecimientos desde once por cada cien mil en 1979 a 137 por cada cien mil en 2015, lo que supone que el tiempo que se tarda en doblarse = $36/\log_2(137/11)$ = 10 años.

[324] Jalal, H., «Changing dynamics of the drug overdose epidemic in the United States from 1979 through 2016», *Science* , 2018.

[325] Mars, S. G., «“Every ‘never’ I ever said came true”: transitions from opioid pills to heroin injecting», *International Journal of Drug Policy* , 2014.

[326] Equipo de *TCR* , «America “can’t arrest its way out of the opioid epidemic”», *The Crime Report* , 16 de febrero de 2018, https://thecrimereport.org/2018/02/16/america-cant-arrest-its-way-out-of-the-opioid-epidemic/.

[327] Lum, K. y W. Isaac, «To predict and serve?», *Significance* , 7 de octubre de 2016.

[328] Citas de una entrevista del autor con Kristian Lum, enero de 2018.

[329] Perry, W. L. *et al.* , *Predictive Policing* , informe de la Corporación RAND, 2013.

[330] Whitty, C. J. M., «What makes an academic paper useful for health policy?», *BCM Medicine* , 2015.

[331] Dumke, M. y F. Main, «A look inside the watch list Chicago police fought to keep secret», *Chicago Sun-Times* , 18 de mayo de 2017, https://chicago.suntimes.com/2017/5/18/18386116/a-look-inside-the-watch-list-chicago-police-fought-to-keep-secret.

[332] Información sobre el algoritmo de la SSL: Posadas, B., «How strategic is Chicago’s “Strategic Subjects List”? Upturn investigates», *Medium* , 22 de junio de 2017; Asher, J. y R. Arthur, «Inside the algorithm that tries to predict gun violence in Chicago», *New York Times* , 13 de junio de 2017; Kunichoff, Y. y P. Sier, «The contradictions of Chicago police’s secretive list», *Chicago Magazine* , 21 de agosto de 2017.

[333] Según Posadas («How strategic is Chicago’s “Strategic Subjects List”?»), la proporción de alto riesgo: 287404/398684 = 0,72. De ellos, 88.592 (el 31 por ciento) nunca han sido detenidos ni han sido víctimas de un delito.

[334] Papachristos, A. V., «CPD's crucial choice: treat its list as offenders or as potential victims?», *Chicago Tribune* , 29 de julio de 2016.

[335] Hemenway, D., *While We Were Sleeping: Success Stories in Injury and Violence Prevention* , Berkeley: University of California Press, 2009.

[336] Información sobre el enfoque de las ventanas rotas: Kelling, G. L. y J. Q. Wilson, «Broken windows», *The Atlantic* , marzo de 1982; Harcourt, B. E. y J. Ludwig, «Broken windows: new evidence from New York City and a five-city social experiment», *University of Chicago Law Review* , 2005.

[337] Childress, S., «The problem with "broken windows" policing», *Frontline* , 28 de junio de 2016, www.pbs.org/wgbh/frontline/article/the-problem-with-broken-windows-policing/.

[338] Keizer, K. *et al.* , «The spreading of disorder», *Science* , 2008.

[339] Keizer, K. *et al.* , «The importance of demonstratively restoring order», *PLOS ONE* , 2013.

[340] Tcherni-Buzzeo, M., «The "great American crime decline": possible explanations», en Krohn, M. D. *et al.* (eds.), *Handbook on Crime and Deviance* , 2.ª ed., Nueva York: Springer, 2019.

[341] Hipótesis alternativas para explicar la disminución de la delincuencia, y sus correspondientes críticas: Levitt, S. D., «Understanding why crime fell in the 1990s: four factors that explain the decline and six that do not», *Journal of Economic Perspectives* , 2004; Nevin, R., «How lead exposure relates to temporal changes in IQ, violent crime, and unwed pregnancy», *Environmental Research Section A* , 2000; Foote, C. L. y C. F. Goetz, «The impact of legalized abortion on crime: comment», *Quarterly Journal of Economics* , 2008; Casciani, D., «Did removing lead from petrol spark a decline in crime?», BBC.com, 21 de abril de 2014, www.bbc.com/news/magazine-27067615.

[342] Entrevista del autor con Melissa Tracy, agosto de 2018.

[343] Lowrey, A., «True crime costs», *Slate* , 21 de octubre de 2010, https://slate.com/culture/2010/10/does-every-murder-in-the-united-states-really-cost-society-17-million.html.

05

Volviéndose viral

«Su pedido Nike iD ha sido cancelado», decía el correo electrónico. Era enero de 2001, y Jonah Peretti estaba intentando comprar unas zapatillas deportivas personalizadas. El problema era el nombre que había solicitado; para desafiar a la compañía, había pedido que sus zapatillas llevasen impresa la expresión «empresa explotadora». [344]

Peretti, que por aquel entonces era un estudiante del Media Lab del MIT, terminó intercambiando una serie de correos electrónicos con Nike. La compañía reiteraba que no podía cursar el perdido porque se trataba de un «término inapropiado». Incapaz de convencerles, Peretti decidió reenviar el mensaje amenazante a unos pocos amigos. Muchos de ellos lo reenviaron a sus amigos, que lo volvieron a reenviar, y así sucesivamente. En unos pocos días, el mensaje se había propagado a miles de personas. Pronto los medios recogieron la historia. A finales de febrero, la cadena de correos había sido cubierta por *The Guardian* y el *Wall Street Journal* , y la NBC invitó a Peretti al *Today Show* para debatir la cuestión con un portavoz de Nike. En marzo, la historia alcanzó una audiencia internacional, al llegar a varios periódicos euro peos. Y todo a partir de un único correo electrónico. Más adelante, Peretti escribiría que «aunque la prensa presentó mi batalla con Nike como una parábola de David contra Goliat, la historia real es la batalla entre una compañía como Nike, con acceso a los medios de comunicación de masas, y una red de ciudadanos en internet que solo tenían micromedios a su alcance». [345]

Ese correo electrónico había logrado una muy amplia difusión, pero quizá había sido simplemente un golpe de suerte. El amigo de Peretti y compañero de doctorado Cameron Marlow era de esa opinión. Marlow —que más adelante sería director de gestión de datos de Facebook— no creía que una persona pudiese de forma deliberada lograr que un fenómeno despegase de esa manera. Pero Peretti pensaba que podría repetirlo. Poco

después del correo electrónico a Nike, consiguió un trabajo en Nueva York en una organización sin ánimo de lucro llamada Eyebeam. Peretti terminaría dirigiendo un «laboratorio de medios contagiosos» en Eyebeam, experimentando con contenido *online* . Quería ver qué hacía que determinados contenidos se propagasen y qué era lo que permitía que siguiesen propagándose.

A lo largo de los siguientes años, comenzaría a recopilar aquellos rasgos que eran importantes para lograr popularidad *online* . Por ejemplo, cómo noticias recientes sobre emergencias podían atraer tráfico a las páginas web. Y cómo los temas polarizadores consiguen una mayor exposición, mientras que un cambio constante de contenidos hace que los usurarios vuelvan a la página en cuestión una y otra vez. Su equipo creó un «reblog» que permitía compartir los contenidos subidos por otras personas, un concepto que más adelante sería fundamental para la propagación en el seno de las redes sociales (imagínese lo distinto que sería Twitter sin la opción de retuitear, o Facebook sin un botón de «compartir»). Peretti se pasaría finalmente al campo de las noticias, ayudando a crear el *Huffington Post* , pero esos experimentos tempranos sobre el contagio se le quedaron grabados. Finalmente, sugirió a su antiguo jefe en Eyebeam la creación de un tipo nuevo de empresa de medios de comunicación. Una que se especializase en el contagio, empleando sus ideas sobre la popularidad y aplicándolas a escala masiva. La idea era compilar un flujo constante de contenido viral. Lo denominaron BuzzFeed.

Poco después de que Duncan Watts publicase su trabajo sobre las redes de mundos pequeños, entró a formar parte del Departamento de Sociología de la Universidad de Columbia. Durante este periodo empezó a interesarse en el contenido *online* , convirtiéndose al final en consejero de BuzzFeed. Aunque Watts había empezado estudiando vínculos en redes como los repartos de las películas y los cerebros de las lombrices, la World Wide Web contenía una enorme cantidad de nuevos datos de redes. A comienzos de la década del 2000, Watts y sus colegas comenzaron a explorar estas conexiones *online* . Mientras tanto, derribarían algunas viejas creencias sobre cómo se propaga la información.

En ese momento, los responsables de *marketing* de las empresas estaban muy emocionados con la idea de los *influencers* : personas corrientes con la capacidad de desencadenar una epidemia social. Actualmente, el término *influencer* ha evolucionado para referirse tanto a personas corrientes con

influencia como a celebridades y personalidades relevantes de los medios. Pero el concepto original se refería a individuos poco conocidos que podían desencadenar brotes a través del boca a boca. La idea era que al reclutar a unas pocas personas inesperadamente bien conectadas, las empresas podían conseguir que sus ideas se propagasen mucho más y a mucho menor coste. En lugar de tener que basarse en celebridades como Oprah Winfrey para promover sus productos, podían generar olas de entusiasmo desde abajo. Tal como dijo Watts, ahora en la Universidad de Pensilvania, «lo que lo hacía tan interesante para toda esa gente en los departamentos de *marketing* era que podían conseguir un impacto tipo Oprah con poco dinero». [346]

La idea de los *influencers* estaba inspirada en el famoso experimento de mundos pequeños del psicólogo Stanley Milgram. En 1967, Milgram asignó a trescientas personas la tarea de llevar un mensaje a un corredor de bolsa determinado que vivía en la ciudad de Sharon, cerca de Boston. [347] Al final, sesenta y cuatro de los mensajeros lo lograron. De ellos, una cuarta parte encontraron a su destinatario a través de la misma persona, un comerciante de paños local. Milgram dijo que fue una completa sorpresa para el corredor de bolsa descubrir que este comerciante era aparentemente su mayor vínculo con el mundo exterior. Si un anodino comerciante podía resultar tan importante para la propagación de un mensaje, quizás habría otras personas ahí fuera igualmente influyentes.

Watts señaló que existen múltiples versiones de la hipótesis del *influencer* . «Hay una versión interesante pero falsa —dijo— y una aburrida pero verdadera». La versión interesante es que unas personas concretas —como el comerciante de paños de Milgram— juegan un papel enormemente desproporcionado en el contagio social. Y si puedes identificarlas, puedes hacer que las cosas se propaguen sin tener que contar con enormes presupuestos y con el respaldo de celebridades. Es una idea atractiva, pero que no resiste el más mínimo escrutinio. En 2003, Watts y sus colegas de Columbia reprodujeron el experimento de Milgram, en esta ocasión con correos electrónicos y a una escala mucho mayor. [348] Tras seleccionar a dieciocho individuos distintos en trece países, el equipo puso en marcha casi veinticinco mil cadenas de correos electrónicos, pidiendo a cada participante que hiciese llegar su mensaje a un individuo determinado. En el estudio mucho más pequeño de Milgram, el comerciante de paños parecía ser el vínculo vital, pero no había nada parecido en las cadenas de correos electrónicos. Los mensajes en cada cadena fluían a través de distintas

personas, más que a través de los mismos *influencers* . Los investigadores de Columbia les preguntaron por qué reenviaban el correo electrónico a unas personas concretas. En lugar de enviar el mensaje a contactos especialmente populares o bien conectados, la gente solía hacer su selección basándose en criterios como la ubicación o la ocupación.

El experimento mostró que los mensajes no necesitaban de personas altamente conectadas para llegar a un destino determinado. Pero ¿qué ocurre si estuviésemos interesados simplemente en que algo se propagase lo más rápidamente posible? ¿Podrían aquellas personas que están más conectadas en la red —como las celebridades— ayudar a ello? Unos pocos años después del análisis de los correos electrónicos, Watts y sus colegas estudiaron cómo los vínculos de internet se propagaban en Twitter. Los resultados sugerían que un contenido era más probable que se propagase ampliamente si era subido por alguien que contaba con muchos seguidores o con un historial previo de hacer que las cosas se propaguen. Y, no obstante, ni siquiera esto era una garantía: la mayor parte del tiempo estas personas no conseguían generar grandes brotes. [349]

Lo que nos lleva a la versión más básica de la hipótesis del *influencer* . Se trata simplemente de la idea de que algunas personas son más influyentes que otras. Hay muchas pruebas que sustentan esta idea. Por ejemplo, en 2012 Sinan Aral y Dylan Walker estudiaron cómo los amigos de una persona influían en su elección de *apps* en Facebook. Descubrieron que, en el seno de parejas de amigos, las mujeres influían a los hombres a una tasa un 45 por ciento superior de lo que influían a otras mujeres, y que los mayores de treinta años eran un 50 por ciento más influyentes que los menores de dieciocho. También mostraron que las mujeres eran menos susceptibles a la influencia que los hombres, y que las personas casadas eran menos susceptibles que las solteras. [350]

Si queremos que una idea se propague, idealmente necesitamos a personas que sean al mismo tiempo muy susceptibles y muy influyentes. Pero Aral y Walker descubrieron que esas personas eran muy poco comunes. Señalaron que «los individuos muy influyentes tienden a no ser susceptibles, los individuos muy susceptibles tienden a no ser influyentes, y casi nadie es al mismo tiempo muy influyente y muy susceptible a la influencia». De manera que ¿qué efectos podría tener centrarse en las personas influyentes? En un estudio posterior, el equipo de Aral simuló lo que ocurriría si las mejores personas posibles para ello fueran escogidas

para desencadenar un brote social. Comparado con escoger al azar, descubrieron que seleccionar bien podía ayudar a que las cosas se propagasen el doble de rápido. Es sin duda una mejora, pero está lejos de la idea de que unos pocos *influencers* escasamente conocidos puedan desencadenar un enorme brote por sí mismos. [351]

¿Por qué es tan difícil conseguir que las ideas se propaguen de una persona a otra? Una primera explicación es el hecho ya mencionado de que la gente raramente es a la vez susceptible e influyente. Si alguien propaga una idea a muchas personas susceptibles, estos individuos no necesariamente la propagarán mucho más. Y después está la estructura de nuestras interacciones. Mientras que los mercados financieros se caracterizan por un «emparejamiento no selectivo» —con grandes bancos conectados con muchos otros pequeños—, las redes sociales humanas tienden a ser todo lo contrario. Desde las comunidades rurales a las amistades en Facebook, las personas populares normalmente forman grupos sociales con otras personas populares. [352] Esto significa que si nos centramos en unos pocos individuos populares, podríamos obtener un brote que se propague rápidamente por el boca a boca, pero que probablemente no alcance a un porcentaje alto de la red. Desencadenar múltiples brotes a lo largo de la red podría, por tanto, ser más efectivo que intentar identificar *influencers* de alto nivel dentro de una comunidad. [353]

Watts se dio cuenta de que la gente tiende a mezclar las diferentes teorías de los *influencers.* Pueden pensar que han encontrado *influencers* ocultos —como el comerciante del experimento de Milgram— y usarlos para conseguir que algo se propague. Pero, en realidad, podrían haber optado por una campaña masiva en los medios o por pagar a celebridades para que promoviesen el producto *online* , saltándose completamente la transmisión boca a boca. En opinión de Watts, «o bien sin querer o deliberadamente, ambas cosas se confunden, con el resultado de que lo aburrido suena como si fuera interesante».

El debate en torno a los *influencers* muestra que tenemos que reflexionar acerca de nuestra exposición a la información *online* . ¿Por qué adoptamos algunas ideas, pero no otras? Una razón es la competición: las opiniones, las noticias y los productos están compitiendo unos con otros por captar nuestra atención. Algo similar ocurre con el contagio biológico. Los patógenos detrás de enfermedades como la gripe y la malaria están formados realmente a partir de varias cepas, que compiten continuamente

por contagiar a los humanos susceptibles. ¿Por qué una cepa termina siendo dominante? Nuestro comportamiento social probablemente tiene algo que ver. Si las personas se reúnen en grupos cerrados, eso permitirá que un número más amplio de cepas persistan en una población. En esencia, cada cepa puede encontrar su propio territorio, sin tener que competir constantemente con otras. [354] Esas interacciones sociales también explicarían la enorme diversidad de ideas y opiniones *online* . Desde las opiniones políticas a las teorías de la conspiración, las comunidades en las redes sociales frecuentemente se agrupan en torno a visiones del mundo similares. [355] Esto crea potencialmente «cámaras de resonancia» en las que la gente raramente escucha puntos de vista que contradigan los propios.

Una de las comunidades *online* más prominentes es el movimiento antivacunas. Sus miembros a menudo se reúnen en torno a una teoría popular, pero sin base alguna, según la cual la vacuna contra el sarampión, las paperas y la rubeola (SPR) provoca autismo. Los rumores comenzaron en 1998 con un artículo científico —luego desacreditado y retirado— encabezado por Andrew Wakefield, que fue posteriormente expulsado del colegio de médicos del Reino Unido. Por desgracia, los medios británicos recogieron las teorías de Wakefield y las amplificaron. [356] Esto llevó a una disminución de las vacunaciones SPR, seguida de varios brotes importantes de sarampión años después, cuando niños no vacunados empezaron a entrar en el bullicioso entorno de los colegios y las universidades.

A pesar de los extensos rumores en torno a las vacunas SPR en el Reino Unido a comienzos de la década del 2000, la cobertura de los medios era muy diferente al otro lado del canal. Mientras que las vacunas SPR estaban recibiendo mala prensa en el Reino Unido, los medios franceses estaban especulando sobre un vínculo no demostrado entre la vacuna de la hepatitis B y la esclerosis múltiple. Más recientemente, ha habido una cobertura negativa de la vacuna contra el VPH en los medios japoneses, y un rumor de hace veintiún años sobre la vacuna contra el tétanos resurgió en Kenia. [357]

El escepticismo hacia la medicina no es algo nuevo. Los métodos de prevención de enfermedades han sido cuestionados durante siglos. Antes de que Edward Jenner crease una vacuna contra la viruela en 1796, algunas personas usaban una técnica denominada «variolación» para reducir el riesgo de enfermedad. Desarrollada en la China del siglo XVI , la variolación exponía a personas sanas a las costras de pus secas de enfermos de viruela.

La idea era estimular una forma suave de infección, que proporcionase inmunidad al virus. El procedimiento era arriesgado —alrededor de un 2 por ciento de las variolaciones acababa en muerte—, pero el riesgo era mucho menor que el 30 por ciento de probabilidad de morir que acarreaba normalmente la viruela. [358]

La variolación se hizo popular en la Inglaterra del siglo XVIII , pero ¿valía la pena correr el riesgo? El escritor francés Voltaire observó que otros europeos pensaban que los ingleses eran necios y locos por usar ese método. «Necios, porque inoculaban a sus hijos con la viruela para evitar que la cogiesen; y locos porque transmitían deliberadamente una cierta forma terrible del moquillo a sus hijos, solo para evitar un mal incierto». Señalaba que la crítica iba también en la otra dirección. «Los ingleses, por otro lado, consideran que el resto de los europeos son cobardes y anormales. Cobardes, porque temen hacer pasar a sus hijos por una pequeña molestia; anormales, porque les exponen a morir de un momento a otro de la viruela». [359] Voltaire, él mismo un superviviente de la viruela, apoyaba el enfoque inglés.

En 1759, el matemático Daniel Bernoulli decidió intentar resolver el debate. Para determinar si el riesgo de infección de viruela superaba el riesgo derivado de la variolación, desarrolló el primer modelo de brotes de la historia. Basándose en las pautas de transmisión de la viruela, estimó que la variolación incrementaría la esperanza de vida siempre que el riesgo de muerte por el procedimiento estuviese por debajo del 10 por ciento, como era el caso. [360]

En el caso de las vacunas modernas, el equilibrio entre riesgo potencial y beneficios es en general mucho más claro. En un platillo de la balanza, tenemos unas vacunas enormemente seguras y efectivas como la SPR; en el otro, infecciones potencialmente letales como el sarampión. Un rechazo extendido a la vacunación tiende a ser un lujo, un subproducto de vivir en lugares en los que —gracias a la vacunación— ha habido muy pocas infecciones en las últimas décadas. [361] Una encuesta de 2019 descubrió que los países europeos tendían a confiar mucho menos en las vacunas que los de África y Asia. [362]

Aunque los rumores sobre las vacunas han estado tradicionalmente circunscritos a un solo país, nuestra creciente conectividad digital está cambiando esa pauta. La información puede ahora propagarse rápidamente *online* , incluso con traducciones automáticas que ayudan a que la

propagación de mitos sobre la vacunación cruce las barreras idiomáticas. [363] La consiguiente caída de la confianza en las vacunas puede tener graves consecuencias para la salud de los niños. Debido a que el sarampión es altamente contagioso, al menos el 95 por ciento de la población tiene que estar vacunada para poder evitar brotes. [364] En sitios en los que las creencias antivacunas se han propagado con éxito, se están produciendo brotes de la enfermedad. En años recientes, docenas de personas han muerto de sarampión en Europa, unas muertes que podrían haber sido fácilmente evitadas si más gente se hubiese vacunado. [365]

La emergencia de esos movimientos ha puesto de manifiesto la posibilidad de que surjan cámaras de resonancia *online* . Pero ¿en qué medida los algoritmos de las redes sociales han cambiado nuestras interacciones con la información? Después de todo, compartimos creencias con otras personas que conocemos en la vida real, así como con personas que conocemos *online* . Quizá la propagación de información *online* es solo un reflejo de una cámara de resonancia que ya existe.

En las redes sociales, hay tres factores que influyen en lo que leemos: si uno de nuestros contactos comparte un artículo, si ese contenido aparece en nuestro *feed* de noticias de Facebook y si hacemos clic en él. Según datos de Facebook, los tres factores pueden afectar a nuestro consumo de información. Cuando el equipo de análisis de datos de una compañía examinó las opiniones políticas de los usuarios estadounidenses en 2014-2015, descubrió que los individuos tienden a exponerse a puntos de vista similares a los suyos, mucho más que si hubiesen escogido a sus amigos aleatoriamente. Del contenido subido por estos amigos, el algoritmo de Facebook —que decide qué aparece en el *feed* de noticias de los usuarios— filtró otro 5-8 por ciento de opiniones políticas opuestas. Y en cuanto al contenido que veía la gente, era menos probable que escogiesen artículos que iban en contra de sus posiciones políticas. Era además mucho más probable que escogiesen comentarios que encabezasen su *feed* , lo que era un reflejo de la enorme competencia entre contenidos. Todo esto sugiere que si existe una cámara de resonancia en Facebook, esta comienza con cómo seleccionamos a nuestros amigos, pero puede luego ser exacerbada por el algoritmo que selecciona las noticias que llegan a tu página. [366]

¿Y qué ocurre con la información que nos llega por otras fuentes? ¿Está igualmente polarizada? En 2016, investigadores de las universidades de Oxford y Stanford, junto con Microsoft Research, analizaron las pautas de

navegación por internet de cincuenta mil estadounidenses. Descubrieron que los artículos que la gente veía a través de redes sociales y los buscadores eran generalmente más polarizados que los que les llegaban a través de sus páginas web de noticias favoritas. [367] No obstante, las redes sociales y los buscadores también exponen a la gente a un conjunto más amplio de puntos de vista. Puede que las historias tengan un contenido ideológico más intenso, pero también es posible tener acceso a opiniones opuestas a las tuyas.

Esto podría parecer contradictorio: si las redes sociales nos exponen a un rango más amplio de información que las fuentes tradicionales de noticias, ¿por qué no ayudan a reducir las cámaras de resonancia? Parte de la explicación puede residir en nuestra reacción a la información *online* . Cuando un equipo de sociólogos de la Universidad de Duke reclutó voluntarios en los Estados Unidos para que siguiesen cuentas de Twitter con puntos de vista opuestos, descubrieron que la gente tendía después a volver a su territorio político. [368] De media, los republicanos se volvían más conservadores y los demócratas más liberales. Esto no es un nuevo ejemplo del «efecto contraproducente» que veíamos en el capítulo 3, porque no se trataba en este caso de desafiar las creencias específicas de la gente, sino que implicaba que reducir la polarización política no es tan simple como crear nuevas conexiones *online* . Al igual que en la vida real, puede no gustarnos estar expuestos a puntos de vista con los que no estamos de acuerdo. [369] Aunque las conversaciones cara a cara podrían ayudar a cambiar actitudes —tal como ha ocurrido con el prejuicio y la violencia—, exponerse a las opiniones que aparecen en nuestra página de Facebook no tendrá necesariamente el mismo efecto.

No es solo el contenido mismo lo que puede crear conflicto; también el contexto que lo rodea. Nos encontramos con muchas ideas y comunidades *online* con las que quizá no coincidamos en la vida real. Esto puede generar desencuentros en caso de que la gente cuelgue algo pensando en una audiencia, y, sin embargo, alcance realmente a otra. La investigadora de las redes sociales danah boyd (ella escribe su nombre en minúsculas) lo denomina «colapso del contexto». En la vida real, una conversación con un amigo íntimo podría tener un tono muy distinto que el de una conversación con un compañero de trabajo o con un desconocido: el hecho de que nuestros amigos nos conozcan bien significa que habrá menos potenciales

malentendidos. Boyd se ha referido a eventos tales como las bodas como otra fuente potencial de «colapso del contexto» en encuentros cara a cara. Un discurso que en principio está dirigido a tus amigos podría resultar incómodo para tus familiares; la mayoría de nosotros ha asistido a la narración de una anécdota por parte del padrino de una boda que ha fracasado estrepitosamente. Pero mientras las bodas (normalmente) están cuidadosamente planificadas, las interacciones *online* podrían involuntariamente incluir a amigos, familiares, compañeros de trabajo y desconocidos en la misma conversación. Cualquier comentario se puede sacar fuera de contexto, y en medio de la confusión podrían surgir discusiones. [370]

Según boyd, los contextos subyacentes pueden cambiar también con el tiempo, particularmente a medida que la gente se hace mayor. Tal como escribió en 2008, «aunque el contenido subido por adolescentes podría ser público, la mayor parte del mismo no está pensado para que lo lea todo el mundo, en todo momento y en cualquier espacio». A medida que una generación que ha crecido acompañada de las redes sociales se hace mayor, esta cuestión se planteará cada vez más a menudo. Vistos fuera de contexto, muchos comentarios antiguos —que pueden permanecer *online* durante décadas— parecerán inapropiados o insensatos.

En algunos casos, hay individuos que deciden explotar el «colapso de contexto» que se produce *online* . Aunque «trolear» se ha convertido en un término amplio referido al maltrato *online* , en la cultura inicial de internet, un trol era alguien más travieso que cargado de odio. [371] Su objetivo era provocar una reacción sincera ante una situación implausible. Muchos de los experimentos de Jonah Peretti anteriores de BuzzFeed empleaban este enfoque, publicando una serie de bromas *online* para atraer la atención de otros usuarios.

El troleo, desde entonces, se ha convertido en una táctica efectiva en los debates en las redes sociales. A diferencia de la vida real, las interacciones que tenemos *online* ocurren, de hecho, en un escenario. Si un trol puede provocar una respuesta exagerada de su oponente, puede quedar bien ante un observador casual, que no conozca todo el contexto. El oponente, que podría tener una posición completamente justificada, terminará pareciendo absurdo. «Oh, Señor, haz que mis enemigos parezcan ridículos», dijo una vez Voltaire. [372]

Muchos troles —tanto los bromistas como los abusones— no se comportarían así en la vida real. Los psicólogos lo definen como el «efecto desinhibidor *online* »: resguardados de las respuestas cara a cara y de las identidades de la vida real, la personalidad de la gente puede adoptar formas muy distintas. [373] Pero no se trata simplemente de que haya unas pocas personas dispuestas a actuar como troles. El análisis del comportamiento antisocial *online* ha descubierto que, en determinadas circunstancias, muchas y variadas personas pueden convertirse en troles. En particular, es más fácil que actuemos así cuando estamos de mal humor, o cuando hay otros participantes en la conversación que ya están troleando. [374]

Además de crear nuevos tipos de interacciones, internet está creando también nuevas formas de estudiar cómo se propagan las cosas. En el campo de las enfermedades infecciosas, normalmente no es factible contagiar a personas deliberadamente para ver cómo se propaga algo, como intentó hacer Ronald Ross para el caso de la malaria en la década de 1890. Cuando los investigadores modernos llevan a cabo estudios sobre infecciones, son normalmente a pequeña escala, caros y sometidos a un cuidadoso escrutinio ético. En su mayoría, tenemos que basarnos en datos observacionales, y emplear modelos matemáticos para plantearnos preguntas del tipo «¿qué pasaría si…?» acerca de los brotes. La diferencia con el mundo *online* es que en este último puede ser relativamente barato y fácil desencadenar deliberadamente un contagio, especialmente si da la casualidad de que diriges una empresa de redes sociales.

Si hubiesen estado atentos, miles de usuarios de Facebook se habrían dado cuenta de que el 11 de enero de 2012 sus amigos estaban ligeramente más felices que de costumbre. Al mismo tiempo, otros miles de usuarios habrían notado que sus amigos estaban más tristes de lo que cabría esperar. Pero incluso si hubiesen percibido un cambio en lo que sus amigos estaban publicando *online* , no era un cambio genuino. Era un experimento.

Un grupo de investigadores de Facebook y de la Universidad de Cornell querían explorar cómo se propagan *online* las emociones, y para ello alteraron durante una semana las noticias que los usuarios recibían en sus páginas de Facebook para ver qué pasaba. El equipo publicó los resultados a comienzos de 2014. Lo que descubrieron al alterar aquello a lo que la gente estaba expuesta es que las emociones son contagiosas: las personas que veían menos noticias positivas publicaron de media contenidos menos

positivos, y viceversa. Retrospectivamente, este resultado puede parecer que no es muy sorprendente, pero en ese momento iba en contra de una idea muy popular. Antes del experimento, mucha gente creía que observar contenidos optimistas en Facebook nos haría sentirnos fuera de lugar y, por tanto, menos felices. [375]

La propia investigación pronto desencadenaría muchas emociones negativas, al cuestionar varios científicos y periodistas la ética de un estudio de esas características. «Facebook manipula el estado de ánimo de sus usuarios por medio de un experimento secreto», rezaba un titular de *The Independent* . Un argumento recurrente era que el equipo debía haber obtenido el consentimiento de los usuarios, preguntándoles si estaban de acuerdo en participar en el estudio. [376]

Analizar cómo un determinado diseño influye en el comportamiento no es necesariamente poco ético. De hecho, las organizaciones médicas llevan a cabo regularmente experimentos aleatorizados para determinar cómo promover comportamientos saludables. Por ejemplo, pueden enviar un tipo de recordatorio acerca de chequeos sobre el cáncer a algunas personas y un tipo distinto a otras, y después observar quién responde mejor. [377] Sin este tipo de experimentos, sería difícil descubrir en qué medida un enfoque particular cambia realmente el comportamiento.

No obstante, si un experimento puede tener un efecto negativo sobre los usuarios, los investigadores necesitarán considerar alternativas. En el estudio de Facebook, el equipo de investigación podría haber esperado a que un «experimento natural» —como un tiempo lluvioso— cambiase el estado emocional de las personas, o podría haber intentado responder a la misma pregunta de investigación con un número menor de usuarios. Pero incluso en este caso, pedir un consentimiento previo podría no haber sido factible. En su libro *Bit by Bit* (Paso a paso), el sociólogo Matthew Salganik señala que los experimentos en psicología pueden producir resultados dudosos si la gente sabe qué es lo que se está estudiando. Los participantes en el estudio de Facebook podrían haberse comportado de forma distinta si hubiesen sabido desde el principio que la investigación era sobre emociones. No obstante, si los investigadores en psicología engañan a los participantes para obtener una reacción natural, Salganik consideraba que después del experimento deberían ser informados de ello. [378]

Además de discutir la ética del experimento, la comunidad académica también expresó sus dudas acerca de la magnitud del contagio emocional en

el estudio de Facebook. Y no porque fuese grande, sino porque era muy pequeña. El experimento mostró que cuando un usuario veía menos informaciones positivas en su página de Facebook, el número de palabras positivas en sus actualizaciones de estatus caían una media de un 0,1 por ciento. Igualmente, cuando había menos informaciones negativas, las palabras negativas caían un 0,07 por ciento.

Una de las peculiaridades de los estudios muy grandes es que pueden identificar efectos muy pequeños que no serían detectados en estudios con menos casos. Debido a que el estudio de Facebook incluía tantos usuarios, era posible identificar cambios en el comportamiento increíblemente pequeños. El equipo de investigación argumentó que esas diferencias eran, aun así, relevantes, dado el tamaño de la red social: «A comienzos de 2013, esto supondría cientos de miles de expresiones de emociones al día en las actualiza ciones de estatus». Pero algunas personas seguían sin estar convencidas. «Incluso si aceptas este argumento —escribió Salganik—, sigue sin estar claro si un efecto de este tamaño es importante para la pregunta más general acerca de la propagación de las emociones».

En los estudios sobre el contagio, las compañías de redes sociales tienen una gran ventaja porque pueden supervisar el proceso de transmisión. En el experimento sobre emociones en Facebook, los investigadores sabían quién había subido qué, quién lo había visto y cuál había sido el efecto. Otro tipo de empresas no tienen este mismo nivel de acceso, de manera que tienen que basarse en indicadores alternativos para estimar la popularidad de una idea. Por ejemplo, podrían rastrear cuántas personas cliquean o comparten una información, o cuántos «me gusta» y comentarios recibe.

¿Qué tipo de ideas se popularizan *online* ? En 2011, los investigadores de la Universidad de Pensilvania Jonah Berger y Katherine Milkman estudiaron qué noticias del *New York Times* se compartían por correo electrónico. Reunieron datos de tres meses —en total, casi siete mil artículos— y registraron las características de cada noticia, así como si llegaron a entrar en la lista de «las más compartidas por correo electrónico». [379] Resultó que los artículos que generaban una intensa respuesta emocional era más probable que fuesen compartidos. Esto era así para el caso de emociones positivas, como la admiración, y para el de las negativas, como la ira. Por el contrario, artículos que evocaban las denominadas emociones desactivantes, como la tristeza, eran menos compartidos. Otros

investigadores encontraron efectos emocionales similares; las historias que evocan sensaciones de asco, por ejemplo, son más proclives a ser compartidas. [380]

No obstante, las emociones no son las únicas razones por las cuales recordamos ciertas historias. Utilizando el contenido emocional de los artículos del *New York Times* , Berger y Milkman podían explicar alrededor de un 7 por ciento de la variación en la probabilidad de compartir una noticia. En otras palabras, el 93 por ciento de la variación se debía a otra cosa. Esto se debe a que la popularidad no depende solo del contenido emocional. El análisis de Berger y Milkman descubrió que contener un elemento de sorpresa o tener valor práctico podía influir igualmente en la probabilidad de que un artículo fuera compartido. También influía la apariencia de una noticia: la popularidad de un artículo dependía de cuándo había sido publicado, en qué sección de la página web aparecía y quién era el autor. Cuando se controlaban estas características adicionales, se podía explicar una parte mucho mayor de la variación en la popularidad.

Es tentador pensar que podemos —al menos en teoría— filtrar contenidos exitosos y fallidos para identificar qué hace que un tuit o un artículo sea muy contagioso. No obstante, incluso si logramos identificar las características que explican por qué algunas cosas son más populares, estas conclusiones podrían resultar efímeras. La investigadora de la tecnología Zeynep Tufekci ha apuntado al aparente cambio en los intereses de la gente dependiendo de las plataformas *online* que usen. En el caso de YouTube, por ejemplo, sospechaba que el algoritmo de recomendación de vídeos podría haber estado alimentando apetitos de consumo audiovisual insanos, atrayendo a los usuarios cada vez más hacia el precipicio. Tal como escribió en 2018, «su algoritmo parece haber concluido que las personas se sienten atraídas hacia contenidos más extremos que los consumidos inicialmente, o hacia contenidos incendiarios en general». [381] Este cambio constante de intereses significa que a menos que el nuevo contenido evolucione —haciéndose más dramático, más sugerente, más sorprendente—, atraerá probablemente menos atención que sus predecesores.

Lo mismo pasa en el mundo de la biología. Muchas especies tienen que adaptarse simplemente para no perder comba con sus competidoras. Después de que los humanos descubriesen los antibióticos para combatir las infecciones bacterianas, algunas bacterias evolucionaron para hacerse resistentes a las medicinas comunes. En respuesta a ello, desarrollamos

antibióticos aún más fuertes. Esto obligó a las bacterias a evolucionar más aún. Los tratamientos se hicieron gradualmente más extremos solo para tener el mismo impacto que tenían medicinas más suaves décadas antes. [382] En biología, esta carrera armamentística se conoce como «efecto de la Reina Roja», por el personaje de Lewis Carroll en *A través del espejo* . Cuando Alicia se queja de que correr en el mundo del espejo no te lleva a ningún sitio nuevo, la Reina Roja contesta: «Aquí, como puedes ver, tienes que correr todo lo que puedas para permanecer en el mismo sitio».

Esta carrera evolutiva se refiere al cambio, pero también a la transmisión. Incluso si surge una nueva mutación en las bacterias, no se propagará automáticamente a la población humana. Igualmente, si emerge un nuevo contenido *online* , no hay ninguna garantía de que se popularice. Todos conocemos nuevas historias e ideas que se han expandido ampliamente *online* , pero también conocemos informaciones —quizá algunas que hemos subido nosotros mismos— que se han desvanecido sin dejar rastro. Así que ¿con qué frecuencia algo se hace popular *online* ? ¿Qué forma tiene un brote típico?

Los rumores sobre el bosón de Higgs se propagaron al principio de forma gradual. El 1 de julio de 2012, los usuarios de Twitter comenzaron a especular acerca de que la elusiva partícula —apodada la «partícula de Dios»— había sido finalmente descubierta. Su existencia había sido sugerida originariamente por Peter Higgs en 1964, y era una pieza crucial en el rompecabezas subatómico. Las leyes de la física de partículas decían que debía existir, pero aún no había sido observado en la realidad.

Esto pronto cambiaría. Los rumores de Twitter afirmaban inicialmente que los físicos habían descubierto el bosón en el acelerador de partículas Tevatron de Illinois. El brote de rumores creció a una tasa de alrededor de un nuevo usuario por minuto durante este periodo. Al día siguiente, los investigadores del Tevatron anunciaron que habían encontrado evidencia prometedora —pero aún no definitiva— de la existencia del bosón de Higgs. El brote de Twitter se aceleró, con un número cada vez mayor de usuarios uniéndose a él, y la atención se centró ahora en el Gran Colisionador de Hadrones del CERN (Centro Europeo para la Investigación Nuclear). Estos últimos rumores demostraron ser ciertos: dos días más tarde, investigadores del CERN anunciaron que era cierto que habían encontrado el bosón. A medida que crecía el interés de los medios en el

descubrimiento, más personas se unían al brote en Twitter. Creció a razón de unos quinientos usuarios por minuto al día siguiente, antes de alcanzar un pico un poco después. Hacia el 6 de julio, cinco días después de que surgiese el primer rumor, el interés en la historia había caído drásticamente. [383]

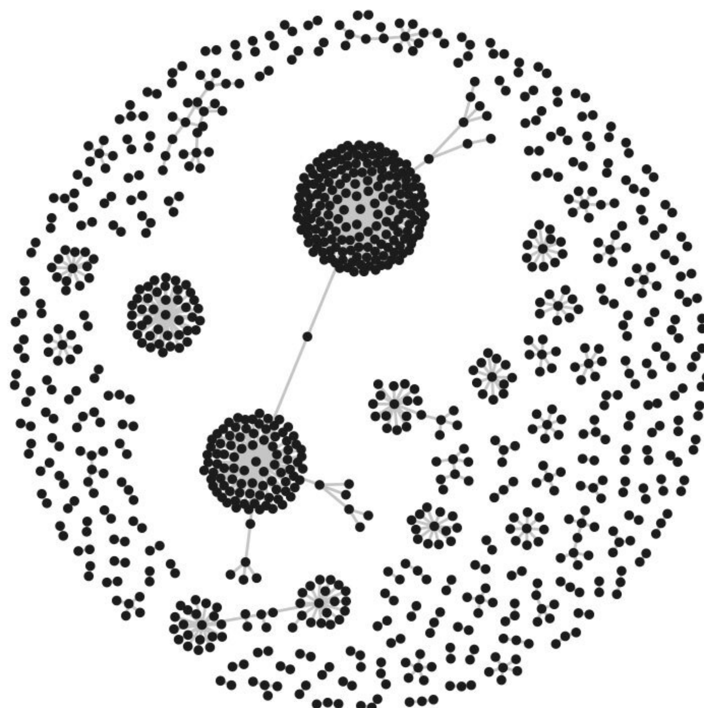


Figura 24. Retuits iniciales sobre el rumor del bosón de Higgs, 1 de julio de 2012. Cada punto representa un usuario, y las líneas representan retuits. Datos: De Domenico, M. et al., «The anatomy of a scientific rumor», *Scientific Reports* , 2013.

Cuando comenzó el rumor del bosón de Higgs, algunos usuarios subieron informaciones acerca del potencial descubrimiento, y otros retuitearon los comentarios de sus seguidores. Si nos fijamos en cómo estaban conectados los primeros cientos de retuits, veremos una gran variación en la transmisión (véase la figura 24). La mayor parte de los tuits no llegaron muy lejos, propagando las noticias solamente a una o dos personas. Pero en medio de las redes de transmisión aparecieron una gran cadena de retuits, incluyendo dos eventos de transmisión a gran escala, en cada uno de los cuales un solo usuario propagó el rumor a muchas otras personas.

Este tipo de diversidad en la transmisión es común en el contenido compartido *online* . En 2016, Duncan Watts, que entonces trabajaba en Microsoft Research, se unió a un grupo de colaboradores de la Universidad

de Stanford para investigar las «cascadas» de contenidos compartidos en Twitter. El grupo rastreó alrededor de 620 millones de contenidos, indicando qué usuarios habían reenviado enlaces compartidos por otros. Algunos enlaces pasaban por múltiples usuarios en una larga cadena de transmisiones. Otros estallaban, pero se desvanecían mucho más rápidamente. Algunos no llegaban a propagarse. [384]

Para el caso de las enfermedades infecciosas, hemos visto que hay dos tipos extremos de brotes. Las transmisiones comunes se producen cuando todo el mundo se contagia a partir de la misma fuente, como en el caso de una intoxicación alimentaria. En el otro extremo, un brote se propaga de una persona a otra a lo largo de varias generaciones. En el caso de las cascadas *online* , encontramos una diversidad similar. En ocasiones el contenido se propaga a muchas personas a partir de una fuente única —lo que se conoce en *marketing* como un evento «de difusión»— mientras que en otras ocasiones se propaga de usuario a usuario. Los investigadores de Stanford y de Microsoft descubrieron que esos eventos de difusión eran una parte crucial de las mayores cascadas. Alrededor de uno de cada mil usuarios de Twitter consiguió compartir contenidos con más de un centenar de usuarios, pero solo una parte de esos contenidos se propagaron. De las informaciones que se propagaron, generalmente un único evento de difusión estaba detrás de su éxito.

Cuando hablamos de contagio *online* , es tentador centrarnos solo en cosas que se han hecho populares. No obstante, esto ignora el hecho de que la gran mayoría de los fenómenos no se propagan. El equipo de Microsoft descubrió que alrededor del 95 por ciento de las cascadas de Twitter consistían en un único tuit que nadie más había compartido. De las otras cascadas, la mayoría no iba mucho más allá de ser compartidas en una sola ocasión. Lo mismo se puede decir de otras plataformas *online* : el contenido que se propaga es extremadamente raro, e incluso cuando se propaga, no va más allá de unas pocas generaciones de transmisión. La mayor parte del contenido no es tan contagioso. [385]

En el capítulo anterior, mencionamos los brotes de tiroteos en Chicago, en los que la transmisión generalmente finalizaba después de un pequeño número de eventos. Varias enfermedades también avanzan a base de tropiezos y traspiés en las poblaciones humanas. Por ejemplo, cepas de la gripe aviar como la H5N1 y la H7N9 han causado grandes brotes en las

aves de corral, pero no se han propagado muy bien entre las personas (al menos por el momento).

¿Qué tipo de brotes esperaríamos cuando algo no se propaga de manera muy efectiva? Ya nos hemos referido a cómo podemos usar el número de reproducción R para evaluar si una enfermedad infecciosa tiene el potencial de propagarse; si R está por encima del valor crítico de 1, existe el potencial de que se produzca una gran epidemia. Pero incluso si R está por debajo de 1, sigue existiendo la posibilidad de que una persona contagiada transmita la enfermedad a otra. Puede ser poco probable, pero es posible. A menos que el número de reproducción sea 0, deberíamos esperar que se produzcan ocasionalmente algunos casos secundarios. Estos nuevos casos podrían provocar nuevas generaciones de infecciones antes de que el brote finalice.

Si conocemos el número de reproducción de una infección, ¿podemos predecir la magnitud media que alcanzará el brote? Resulta que sí podemos, gracias a una fórmula matemática muy peculiar. Además de ser una parte crucial del análisis de un brote, es una idea que puede explicar el enfoque adoptado por Jonah Peretti y Duncan Watts con respecto al *marketing* viral en los inicios de BuzzFeed. [386]

Supongamos que un brote comienza con una persona contagiosa. Por definición, este primer caso generará una media de R casos secundarios. A su vez, estas nuevas infecciones generarán cada una de ellas R más casos —lo que supone R^2 nuevos casos— y así sucesivamente:

Tamaño de un brote = 1 + R + R2 + R3 +…

Podemos intentar sumar todos estos valores para derivar el tamaño esperado del brote. Pero afortunadamente hay una opción más sencilla. En el siglo XIX , los matemáticos demostraron una regla muy elegante que se puede aplicar a secuencias como la anterior. Si R está entre 0 y 1, la siguiente ecuación es cierta:

1 + R + R2 + R3 +… = 1 / (1 − R)

En otras palabras, siempre que el número de reproducción sea menor que 1, el tamaño esperado del brote será igual a $1 / (1 - R)$. Aunque no estés especialmente interesado en las matemáticas del siglo XIX , vale la pena pararse un momento a considerar lo útil que es este atajo. En lugar de tener que simular cómo puede avanzar una infección a trancas y barrancas de una generación a otra hasta que finalmente se extinga, podemos estimar el

tamaño final del brote directamente a partir del número de reproducción. [387] Si R es 0,8, por ejemplo, esperaríamos un brote de 1 / (1 − 0,8) o, lo que es lo mismo, un total de cinco casos. Y esto no es todo lo que podemos hacer. Podemos también operar de manera retrospectiva para estimar el número de reproducción a partir del tamaño medio de un brote. Si los brotes consisten en cinco casos de media, esto significa que R es 0,8.

En mi campo de investigación, usamos regularmente esta forma de cálculo retrospectivo para estimar el número de reproducción de nuevas enfermedades. A principios de 2013, hubo ciento treinta casos humanos de la gripe aviar H7N9 en China. Aunque la mayoría se contagió a través de contactos con aves de corral, cuatro concentraciones de la infección fueron probablemente el resultado de la transmisión entre humanos. [388] Debido a que la mayoría de la gente no infectó a nadie más, el tamaño medio de un brote humano de H7N9 fue de 1,04 casos, lo que sugería que el R en humanos era un insignificante 0,04.

Esta idea no solo es útil para las enfermedades, A mediados de la década del 2000, Jonah Peretti y Duncan Watts aplicaron el mismo método a las campañas de *marketing* . Les permitía obtener la transmisibilidad subyacente de una idea, en lugar de simplemente describir cómo había ido una campaña. En 2004, por ejemplo, la Campaña Brady, organizada por un grupo dedicado a reducir la violencia con armas de fuego, había enviado correos electrónicos pidiendo a sus destinatarios que apoyasen nuevas medidas de control de armas. Pedían a esos destinatarios que reenviasen los correos a sus amigos; algunos de estos amigos los reenviaron a su vez a sus amigos, y así sucesivamente. Por cada correo enviado, una media de unas 2,4 personas terminaron viendo el mensaje. Basándonos en este tamaño típico del brote, podemos calcular que el número de reproducción de la campaña era aproximadamente de 0,58. Una campaña posterior de correos electrónicos con el objetivo de recaudar dinero para ayudar a las víctimas del huracán Katrina consiguió un R de 0,77. No obstante, las tasas de transmisión no son siempre tan altas. Pensemos por un momento en los ejecutivos de *marketing* que intentan propagar mensajes sobre productos de limpieza: Peretti y Watts descubrieron que los correos electrónicos para promocionar el detergente Tide Coldwater tuvieron un R de solo 0,04 (es decir, el mismo que el de la gripe aviar H7N9). Mientras que la mayoría de los correos electrónicos sobre el Katrina se habían propagado entre muchas

personas, alrededor del 99 por ciento de los brotes relacionados con el Tide se desinflaron después de un único evento de transmisión. [389]

¿Por qué nos importa medir una infección si esta no conduce a un gran brote? Para el caso de los patógenos biológicos, un hecho muy preocupante es que estas infecciones se adaptarán a sus nuevos huéspedes. Durante un pequeño brote, los virus pueden mutar de tal manera que les sea más fácil transmitirse. Cuantas más personas se contagien, más probabilidad de que se produzca esa adaptación. Antes de que el SARS provocase un gran brote en Hong Kong en febrero de 2003, surgieron una serie de pequeñas concentraciones de la infección en la provincia de Guangdong, en el sur de China. [390] Entre noviembre de 2002 y enero de 2003, se registraron siete brotes en Guangdong, con entre uno y nueve casos en cada uno de ellos. El tamaño medio del brote era de cinco casos, lo que sugería que el R debía ser de alrededor de 0,8 durante este periodo. Pero para cuando se produjo el brote de Hong Kong un par de meses después, el SARS tenía un R mucho más preocupante, superior a 2.

Hay varias razones por las cuales el número de reproducción de una infección podría incrementarse. Recordemos que el R depende de cuatro DOTS: la *duración* de la infección, las *oportunidades* de transmisión, la probabilidad de *transmisión* durante cada una de esas oportunidades y la *susceptibilidad* media. En el caso de los virus biológicos, todas esas características pueden influir en la transmisión. De todos los virus que se pueden propagar entre humanos, los más exitosos tienden a causar infecciones más largas (de mayor duración) y a propagarse directamente de una persona a otra más que a través de una fuente intermedia (lo que supone mayores oportunidades). [391] La probabilidad de transmisión también puede marcar la diferencia: a los virus de la gripe aviar les cuesta propagarse entre los humanos porque no pueden aferrarse a las células de nuestras vías respiratorias con la misma facilidad que los virus humanos. [392]

El mismo tipo de adaptación puede darse con el contenido *online* . Hay muchos ejemplos de memes *online* —tanto textos como imágenes— que evolucionan para incrementar su atractivo. Cuando la investigadora de Facebook Lada Adamic y sus colegas analizaron la propagación de memes en la red social, descubrieron que el contenido a menudo cambiaba gradualmente. [393] Un ejemplo de ello era un texto que rezaba así: «Nadie debería morir porque no pueda permitirse pagar sus cuidados médicos y

nadie debería arruinarse por enfermar». En su forma original, el meme fue compartido casi un millón de veces. Pero pronto surgieron variantes: uno de cada diez textos nuevos añadía una mutación. Algunas de estas variaciones ayudaron a propagar el meme; cuando la gente incluía frases como «comparte si estás de acuerdo», la probabilidad de que el meme se propagase era casi el doble. El meme era también muy resistente. Después de un pico inicial de popularidad, persistió en una forma u otra durante al menos dos años.

Incluso teniendo en cuenta este caso extremo, parece haber un límite al contagio potencial del contenido *online* . Las tendencias más populares en Facebook en 2014-2016 tenían un número de reproducción de alrededor de 2. Este límite parece darse debido a que los distintos componentes de la transmisión se compensan unos a otros. Algunas tendencias —como el desafío del cubo de agua helada— implican solo unas pocas nominaciones por persona, pero conllevan una alta probabilidad de transmisión durante cada una de estas nominaciones. Otros contenidos, como vídeos y enlaces, tienen muchas más oportunidades de propagación, pero al final solo unos pocos amigos que los han visto los comparten. [394] Curiosamente, no había ejemplos de contenidos de Facebook que alcanzasen a muchos amigos y al mismo tiempo tuviesen una probabilidad sistemáticamente alta de propagarse a cada persona que los viesen. Esto es un recordatorio de lo débiles que son los brotes *online* en comparación con las infecciones biológicas: incluso el contenido más popular de Facebook es diez veces menos contagioso que el sarampión.

Las perspectivas son aún peores para una campaña de *marketing* . Aunque Jonah Peretti apostó una vez a que era posible generar un brote deliberado de lo que fuese, desde entonces ha reconocido que es mucho más difícil garantizar el contagio cuando se trabaja al dictado de un cliente. [395] Considérese la diferencia entre su correo electrónico original a Nike, que se propagó ampliamente, y las posteriores campañas por correo electrónico mencionadas más arriba, que eran mucho menos transmisibles. Tal como señalaron Peretti y Watts, las enfermedades infecciosas tienen de su parte milenios de evolución; los comerciales no tienen tanto tiempo. En su opinión, «lo más probable es que incluso los creativos más talentosos diseñarán normalmente productos que generen un R [menor que] 1, por mucho que se esfuercen». [396]

Afortunadamente, hay otra forma de incrementar el tamaño de un brote: hacer llegar el mensaje a más personas desde un principio. En los ejemplos anteriores, hemos asumido que al comienzo solo una persona es contagiosa. Si el número de reproducción es pequeño, esto llevará a un brote igualmente pequeño que se desinflará rápidamente. Una forma de solucionar esto es simplemente mediante la introducción de más infecciones. Peretti y Watts lo denominan «*marketing* de gran inseminación». Si hacemos llegar un mensaje ligeramente contagioso a muchas personas, podría atraer una atención adicional durante pequeños brotes subsiguientes. Por ejemplo, si mandamos un mensaje no contagioso a un millar de personas, alcanzaremos a un millar de personas. Si en lugar de ello lanzamos un mensaje con un R de 0,8, esperaríamos alcanzar a cinco mil personas en total. Gran parte del contenido inicial de BuzzFeed se popularizó de esta manera. Varias personas vieron artículos en la página web, y después los compartieron con un puñado de amigos en sitios como Facebook. El equipo de Peretti se aprovechó ampliamente en la década de 2010 de la idea del «reblog» inventada a comienzos de la década del 2000. Hacia 2013, BuzzFeed era considerado el editor más «social» de Facebook, con más comentarios, más «me gusta» y más contenido compartido que cualquier otra organización. [397] El *Huffington Post* , la antigua empresa de Peretti, era el segundo.

Si los contenidos web tienen normalmente un R bajo y necesitan múltiples introducciones para propagarse, lo más probable es que no debiéramos pensar en el contagio *online* como si se tratase del virus de la gripe de 1918 o del SARS. Infecciones como una pandemia de gripe se propagan fácilmente de una persona a otra, lo que significa que los brotes inicialmente crecen cada vez más a lo largo de varias generaciones de transmisión. Por el contrario, la mayor parte del contenido *online* no alcanza a muchas personas a menos que haya algún tipo de evento de difusión de masas. Según Peretti, las compañías de *marketing* a menudo hablan de cosas que se han vuelto «virales» como si fuesen una enfermedad, pero lo que normalmente quieren decir es que algo se ha hecho popular. Tal como afirmó en una ocasión, «estamos pensando en términos de una definición epidemiológica de lo que es viral, con un cierto umbral de contagios que tienen como resultado que el contenido crece con el tiempo. En lugar de un declive exponencial, lo que obtienes es un crecimiento exponencial. Eso es lo que significa que algo sea viral». [398]

La mayoría de las cascadas *online* no son virales como las pandemias; no crecen exponencialmente. En realidad, se parecen más a los brotes dubitativos de la viruela que se produjeron en Europa en la década de 1970. Estos brotes generalmente se desvanecían, aun con el ocasional evento de superpropagación que llevaba a un gran número de concentración de casos. No obstante, la analogía del superpropagador de la viruela tiene un límite, porque los medios de comunicación y las personas famosas tienen un alcance que va mucho más allá del de la transmisión biológica. Durante nuestra entrevista de 2018, Watts me dijo que «un superpropagador es alguien que contagia, pongamos por caso, a once personas en lugar de a dos. No hay superpropagadores que contagien a once millones de personas».

Dado que las cascadas en las redes sociales no son lo mismo que los brotes de enfermedades infecciosas, un modelo tradicional de una enfermedad no nos ayudará necesariamente a predecir qué ocurrirá *online* . Pero quizás no necesitamos basarnos en predicciones inspiradas por la biología. Dado el enorme volumen de datos generados en las redes sociales, los investigadores están intentando crecientemente identificar las pautas de transmisión y usarlas para predecir las dinámicas de las cascadas.

¿Es fácil predecir la popularidad *online* ? En 2016, Watts y sus colegas en Microsoft Research reunieron datos sobre casi mil millones de cascadas de Twitter. [399] Incluían datos sobre los propios tuits, como el momento en el que se escribieron y su contenido, así como información sobre los usuarios que los tuitearon inicialmente, como, por ejemplo, su número de seguidores y si tenían un historial de haber obtenido muchos retuiteos. Al analizar el tamaño de las cascadas, descubrieron que el contenido del tuit proporcionaba muy poca información sobre si sería popular o no. Como con sus análisis anteriores sobre los *influencers* , los investigadores descubrieron que el éxito pasado del usuario era un factor mucho más importante. No obstante, su capacidad global de predicción era muy limitada. A pesar de tener a su disposición el tipo de base de datos con el que solo podría soñar un investigador de enfermedades, solo pudieron explicar algo menos de la mitad de la variación de las cascadas.

¿Qué explica, entonces, la otra mitad? Los investigadores reconocieron que podría haber algunas características adicionales y aún desconocidas del éxito de un tuit que podrían mejorar la capacidad de predicción. No

obstante, una gran parte de la variación en la popularidad es aleatoria. Incluso aunque tengamos datos detallados sobre lo que está siento retuiteado y quién lo está haciendo, el éxito de un *post* dependerá inevitablemente, en gran medida, de la suerte. Una vez más esto nos muestra que es importante desencadenar múltiples cascadas, en lugar de intentar encontrar el tuit «perfecto».

Debido a que es tan difícil predecir la popularidad de un tuit antes de escribirlo, una alternativa es esperar y ver antes de hacer una predicción. Esto se conoce como el «método de echar una ojeada», porque lo que hacemos es observar los datos al comienzo de la propagación antes de predecir lo que ocurrirá a continuación. [400] Cuando Justin Cheng y sus colegas analizaron el intercambio de fotos en Facebook en 2014, descubrieron que sus predicciones mejoraban mucho una vez que disponían de datos sobre las dinámicas iniciales de las cascadas. Las grandes cascadas solían mostrar una propagación parecida a las de las noticias televisivas, atrayendo rápidamente mucha atención. Y, no obstante, el equipo descubrió que algunas de sus características eran más esquivas, incluso siguiendo el método de echar primero una ojeada. En su opinión, «predecir el tamaño de las cascadas es todavía mucho más fácil que predecir su forma». [401]

No es solo el contenido de las redes sociales lo que es más sencillo de predecir una vez que ha transcurrido un cierto periodo de tiempo. En 2018, Burcu Yucesoy y sus colegas de la Universidad del Nordeste analizaron la popularidad de los libros de la lista de los más vendidos del *New York Times* . Aunque predecir cuándo un libro determinado va a ser un éxito de ventas es bastante difícil, los libros que alcanzan popularidad tienden a seguir a partir de ahí una pauta consistente. El equipo de investigadores descubrió que la mayoría de los libros de la lista de los más vendidos experimentaban un gran crecimiento inicial en ventas, alcanzando un pico a las diez semanas de su publicación, y después declinaban hasta un nivel muy bajo. Solo una media del 5 por ciento de las ventas se producía después del primer año. [402]

A pesar del progreso realizado en la comprensión de los brotes *online* , la mayoría de los análisis todavía se basan en poder contar con buenos datos históricos. En general, es difícil predecir la duración de una nueva tendencia con antelación, porque desconocemos las reglas subyacentes que gobiernan la transmisión. No obstante, ocasionalmente una cascada *online* sigue unas

reglas conocidas. Y fue una de esas cascadas la que atrajo mi interés inicial hacia los contagios en las redes sociales.

Con su gorra de béisbol de «Amo a los *haters* », la mujer sacó un pez de colores vivo de su bolso y lo sumergió en una copa de licor. Después se la bebió con pez y todo. Era una estudiante de Derecho que estaba viajando por Australia y acababa de realizar la hazaña a la que un amigo la había retado. Todo el episodio había sido grabado. Poco después, el vídeo fue subido a su página de Facebook, junto con un reto a otra persona. [403]

Estábamos a comienzos del 2014, y la mujer era una participante más en el juego *online* denominado NekNomination. Las reglas eran sencillas: los jugadores se grababan bebiendo una copa, subían el vídeo a las redes sociales y después retaban a otros a hacer lo mismo en un plazo de veinticuatro horas. El juego se extendió por toda Australia, y a medida que lo hacía se volvía más ambicioso —y el contenido alcohólico de la bebida más alto—. La gente se bebía una copa subida a un monopatín, conduciendo un coche y practicando caída libre. Las bebidas iban desde alcohol puro a cócteles que incluían insectos en la mezcla e incluso ácido para baterías. [404]

La cobertura por parte de los medios de la NekNomination se expandió a medida que lo hacía el juego. El vídeo del pez de colores fue ampliamente compartido, y los periódicos publicaban historias cada vez más extremas. Cuando el juego alcanzó el Reino Unido, provocó un estallido de pánico en los medios. ¿Por qué estaba todo el mundo haciendo esto? ¿Hasta dónde se iba a llegar? ¿Debería prohibirse por el peligro de intoxicación etílica que generaba? [405]

Cuando la NekNomination golpeó con fuerza el Reino Unido, acepté participar en un programa de radio de la BBC para examinar el juego. [406] Me había dado cuenta de que en juegos como la NekNomination, los participantes transmitían la idea a un puñado de personas determinadas, que a su vez la transmitían a otras, creando una cadena de propagación muy similar a la del brote de una enfermedad.

Si queríamos predecir la forma del brote, lo que realmente necesitábamos era saber dos cosas: cuántas infecciones adicionales generaba de media cada caso (es decir, el número de reproducción) y el retardo entre una ronda de infecciones y la siguiente (es decir, el tiempo de generación). Durante nuevos brotes de enfermedades, solo en raras ocasiones conocemos estos

valores, por lo que tenemos que estimarlos. Para el caso de la NekNomination, sin embargo, la información estaba a la vista de todos, como parte del juego. Cada persona nominaba a otras dos o tres, que tenían que cumplir el desafío —y hacer sus propias nominaciones— en un plazo de veinticuatro horas. Cuando hice mi predicción del juego de la NekNomination en 2014, no tuve que estimar nada; podía meter los números directamente en un modelo simple de enfermedades. [407]

Mi simulación del brote sugería que la NekNomination no duraría mucho. Después de una o dos semanas, se alcanzaría la inmunidad de rebaño, provocando que el brote alcanzase un pico y empezase a declinar. En todo caso, esas predicciones sencillas podían quizá sobrestimar la transmisión. Los amigos tienden a agruparse en la vida real; si varios individuos nominan a la misma persona durante el juego, esto reducirá el número de reproducción, lo que conducirá a un brote menor. Efectivamente, el interés en la NekNomination se desinfló rápidamente. A pesar del frenesí al respecto de los medios de comunicación del Reino Unido a comienzos de febrero de 2014, el juego prácticamente había desaparecido a finales de mes. Juegos posteriores en las redes sociales siguieron una estructura similar, desde el de la «foto sin maquillaje» hasta el muy publicitado «desafío del cubo de agua helada». Basándose en las reglas de cada uno de estos juegos, mi modelo predijo que todos ellos alcanzarían un pico en unas pocas semanas, y así fue. [408]

Aunque los juegos basados en nominaciones normalmente se desinflan en pocas semanas, los brotes en las redes sociales no siempre desaparecen después de alcanzar picos iniciales de popularidad. Tras analizar memes muy populares basados en imágenes en Facebook, Justin Cheng y sus colaboradores descubrieron que casi un 60 por ciento se repiten en algún momento. De media, transcurre justo un mes entre el primer y el segundo pico de popularidad. Si solo se producen dos picos, la segunda cascada es generalmente más breve y menor; si se producen múltiples picos, normalmente son de un tamaño parecido. [409]

¿Qué hace que un meme vuelva a ser popular? El equipo de investigadores descubrió que un gran pico inicial de interés hace que sea menos probable que el meme resurja. Señalaron que «no son las cascadas más populares las más recurrentes, sino las que son moderadamente populares». Esto se debe a que una cascada inicialmente pequeña deja fuera a más personas que, por tanto, aún no habrán visto el meme. Si se produce

un gran brote inicial, no quedarán suficientes personas susceptibles para sostener la transmisión. Para que una cascada sea recurrente, también ayuda el que circulen varias copias del meme. Esto es consistente con lo que ya sabemos de los brotes dubitativos: tener múltiples fuentes del brote puede hacer que las infecciones se propaguen más.

Cheng se centró en imágenes populares, pero ¿y si nos fijamos en otros tipos de contenido? En 2016, impartí una conferencia pública en la Royal Institution de Londres. Los dos años siguientes, un vídeo de la conferencia se las arregló para alcanzar un millón de visionados en YouTube. Más o menos por la misma época en 2016, había dado una conferencia sobre un tema similar en Google, que también se había subido a YouTube, en un canal con un número similar de suscriptores. Durante el mismo periodo, este último vídeo fue visto unas diez mil veces. [410] Lo ideal es que hubiese sido al revés. Resulta que si das dos charlas relacionadas entre sí, pero en una de ellas la fastidias cuando ofreces una demostración en directo, es esta última la que se populariza *online* .

No esperaba que la conferencia en la Royal Institution llegase a atraer tanta atención, pero lo que fue realmente una sorpresa era cómo se acumularon los visionados. Durante el primer año en que la conferencia estuvo *online* , el vídeo atrajo relativamente poco interés, obteniendo más o menos un centenar de visionados al día. Después, repentinamente, en el espacio de unos pocos días, atrajo más atención que la que había tenido en todo el año.

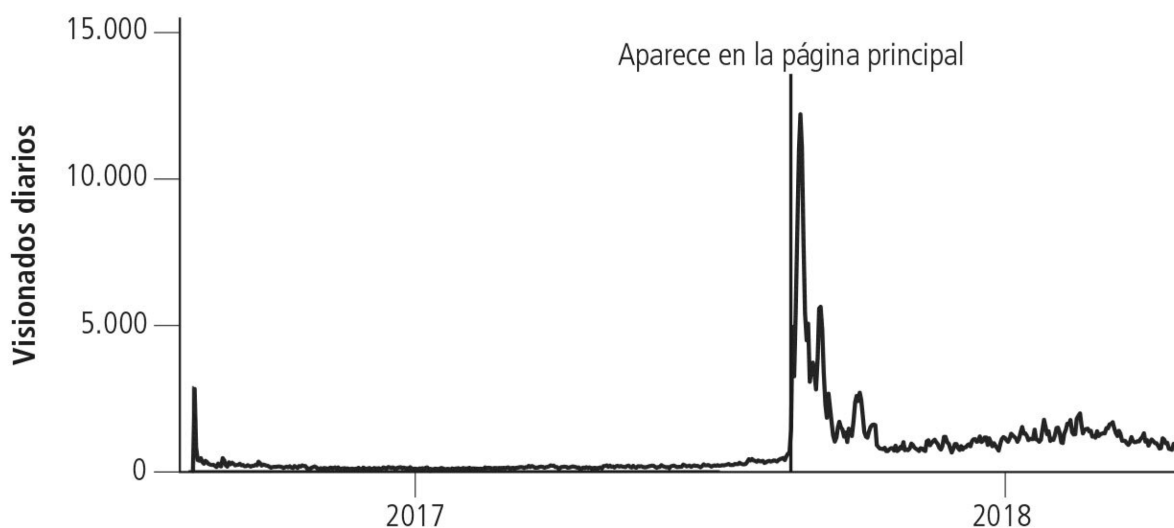


Figura 25. Número de visionados de YouTube al día de mi conferencia de 2016 en la Royal Institution. Datos: Correspondencia personal con la Royal Institution.

Quizá la gente había empezado a compartirlo *online* , haciendo que fuese viral. Pero echando un vistazo a los datos, resultó que la explicación era mucho más sencilla: el vídeo había sido incluido en la página principal de YouTube. A medida que el visionado del vídeo se incrementaba, el algoritmo de YouTube lo acabó incluyendo en la lista de «vídeos recomendados» que aparece al lado de los vídeos más populares. Casi el 90 por ciento de aquellos que vieron la charla la encontraron en la página principal o en una de esas listas. Era un evento de difusión clásico, con una fuente que generaba casi todos los visionados. Y una vez que el vídeo se hizo popular, esa misma popularidad creó un efecto de retroalimentación, atrayendo aún mayor interés. Esto muestra hasta qué punto el vídeo se benefició de la amplificación *online* , primero de la Royal Institution para conseguir esos primeros miles de visionados y después del algoritmo de YouTube para alcanzar a una audiencia mucho mayor.

La popularidad en YouTube tiene tres formas distintas. Una primera se compone de los vídeos que obtienen un nivel bajo pero consistente de visionados. El número fluctúa aleatoriamente de un día para otro, sin aumentos o disminuciones significativas. Alrededor del 90 por ciento de los vídeos de YouTube siguen esta pauta. El segundo tipo de popularidad se da con vídeos repentinamente destacados en un sitio web, quizá en respuesta a una noticia. En este caso, casi toda la actividad se produce después del pico inicial. El tercer tipo de popularidad se produce con vídeos compartidos *online* en otros sitios, acumulando gradualmente visionados antes de alcanzar un pico y empezar de nuevo a declinar. También es posible observar una mezcla de estas tres formas de popularidad; un vídeo compartido puede cobrar nuevo impulso si es destacado en el sitio web, y después pasar a un nivel bajo, como le pasó al mío. [411]

El vídeo es una forma de comunicación particularmente persistente, cuyo interés tiende a durar mucho más que las noticias de prensa. Un ciclo típico de las noticias compartidas en las redes sociales es de alrededor de dos días; en las primeras veinticuatro horas, la mayoría de los contenidos viene en forma de artículos, que son seguidos y comentados a continuación. [412] No obstante, no todas las noticias son iguales. Investigadores del MIT han descubierto que las noticias falsas tienden a propagarse más y más rápido que las verdaderas. [413] Según una hipótesis, esto ocurre porque es más

probable que estas noticias falsas sean propagadas por personas muy populares con muchos seguidores. Los investigadores, sin embargo, descubrieron que era más bien al revés: eran generalmente los individuos con menos seguidores los que propagaban las noticias falsas. Si pensamos en el contagio en términos de los cuatro DOTS, esto sugiere que la información falsa se propaga porque la probabilidad de transmisión es alta, y no porque haya más oportunidades para la propagación. ¿Cuál es la causa de la alta probabilidad de transmisión? La novedad tiene algo que ver con ello: a la gente le gusta compartir información nueva, y las noticias falsas son normalmente más novedosas que las verdaderas.

No obstante, no es solo la novedad. Para entender cómo las cosas se propagan *online* , también necesitamos pensar en el refuerzo social. Y esto supone echar otro vistazo al concepto de contagio complejo: en ocasiones necesitamos estar expuestos a una idea muchas veces antes de que la adoptemos *online* . Por ejemplo, la evidencia muestra que estamos dispuestos a compartir memes *online* sin que nos animen a ello, pero no compartiremos contenido político hasta que no veamos que otras personas también lo hacen. Cuando los usuarios de Facebook cambiaron su foto de perfil por un símbolo de igualdad (=) en apoyo a la igualdad en la regulación del matrimonio a comienzos de 2013, lo hicieron, de media, solo después de que ocho de sus amigos ya lo hubiesen hecho. El contagio complejo también influyó en la adopción inicial de muchas plataformas *online* , como Facebook, Twitter y Skype. [414]

Una peculiaridad del contagio complejo es que se propaga mejor en comunidades cerradas. Individuos que comparten con muchos amigos crean las exposiciones múltiples que se necesitan para que una idea se afiance. No obstante, puede que a partir de ahí a esas ideas les cueste salir de ese círculo y expandirse. [415] Según Damon Centola, la estructura de las redes *online* puede de esta manera actuar como una barrera para un contagio complejo. [416] Muchos de nuestros contactos *online* son simples conocidos, más que parte de nuestro grupo de amigos íntimos. Aunque podríamos adoptar una determinada posición política si muchos de nuestros amigos lo hacen, es menos probable que lo hagamos a partir de una única fuente.

Esto significa que el contagio complejo —como el que se necesitaría para propagar opiniones políticas matizadas— puede estar en desventaja en internet. En lugar de animar a que los usuarios desarrollen ideas estimulantes y socialmente complejas, la estructura de las interacciones

online favorece más bien el contenido simple y fácil de digerir. Así que quizá no es muy sorprendente que sea esto precisamente lo que la gente decida producir.

Con la creciente disponibilidad de datos a comienzos del siglo XX , hay personas que han sugerido que ya no es necesario que los investigadores intenten explicar el comportamiento humano. Una de ellas es Chris Anderson, entonces editor de *Wired* , que en 2008 escribió un artículo memorable donde proclamaba el «fin de la teoría». «¿Quién sabe por qué la gente hace lo que hace? —escribió—. Lo importante es que lo hacen, y podemos rastrear y medir lo que hacen con una fidelidad sin precedentes». [417]

Es cierto que ahora tenemos vastas cantidades de datos sobre la actividad humana; se ha estimado que la cantidad de información digital en el mundo, mucha de ella generada *online* , se dobla cada dos años. [418] Pero incluso así, nos va a costar medir un montón de fenómenos. Por ejemplo, piénsese en esos estudios sobre la obesidad o sobre el contagio del tabaquismo, que muestran lo difícil que es explicar los procesos de transmisión. Nuestra incapacidad para medir el comportamiento no es el único problema. En un mundo de cliqueo y de contenidos compartidos, resulta que no siempre estamos midiendo lo que pensamos que estamos midiendo.

A primera vista, los cliqueos parecen una forma razonable de cuantificar el interés que existe en una historia. En principio, significan que más personas están abriendo el artículo y potencialmente leyéndolo. Sin duda, los escritores que obtienen más clics deberían, en ese sentido, ser recompensados. Pero no necesariamente. Como supuestamente dijo una vez el economista Charles Goodhart, «cuando la medida se convierte en el objetivo, deja de ser una buena medida». [419] Recompensar el éxito basándose en un parámetro simple de desempeño crea un bucle de retroalimentación: la gente empieza a ir a por el parámetro más que a por la calidad subyacente que ese parámetro está intentando evaluar.

Es un problema que puede darse en cualquier campo. En el preludio a la crisis financiera de 2008, los bancos pagaban bonificaciones a comerciales y gestores de inversiones basándose en sus beneficios más recientes. Esto fomentaba estrategias comerciales que cosechasen beneficios a corto plazo, sin tener mucho en cuenta el futuro. La cuantificación de datos ha influido incluso en la literatura. Cuando Alexandre Dumas escribió la primera

versión de *Los tres mosqueteros* por episodios, su editor le pagaba por renglones. Dumas, por consiguiente, añadió el personaje del criado Grimaud, que hablaba con frases cortas, para alargar el texto. Cuando el editor le dijo que las líneas cortas no contaban, Dumas mató al personaje. [420]

Basarse en indicadores como los clics o los «me gusta» nos puede dar una impresión errónea de cómo se comporta la gente realmente. En 2007-2008, alrededor de 1,1 millones de personas se unieron a la causa «Salvemos Darfur» en Facebook, que tenía como objetivo recaudar dinero y atraer la atención de la gente hacia el conflicto de Sudán. Unos pocos nuevos miembros donaron dinero y reclutaron a otros miembros, pero la mayoría no hizo nada. De aquellos que se unieron, solo un 28 por ciento reclutó a alguien más, y apenas un 0,2 por ciento realizó una donación. [421]

A pesar de estos problemas de medición, cada vez se concede más importancia a hacer que las historias consigan sus clics y sean compartidas. Y el resultado puede ser muy efectivo. Cuando investigadores de la Universidad de Columbia y del Instituto Nacional Francés analizaron los artículos de noticias mencionados por los usuarios de Twitter, descubrieron que casi el 60 por ciento de los enlaces nunca habían recibido un clic. [422] Pero esto no impidió que algunas de esas historias se propagasen: los usuarios compartieron miles de contenidos que incluían uno de los enlaces que nunca habían sido cliqueados. Evidentemente, muchos de nosotros preferimos compartir algo más que leerlo.

Quizá esto no sea muy sorprendente, dado que ciertos tipos de comportamiento requieren más esfuerzo que otros. Dean Eckles, un exanalista de datos de Facebook, señaló que no cuesta mucho que la gente interactúe con las redes sociales de forma simple. En su opinión, «es ese un tipo de comportamiento fácil de generar. El comportamiento del que estamos hablando es si a tus amigos les gusta el contenido o lo comentan». [423] Dado que ninguna de esas acciones requiere mucho esfuerzo, hacer que las lleven a cabo es fácil. «Es un empujoncito de nada hacia un comportamiento fácil de conseguir y poco costoso».

Esto crea un desafío para los comerciales. Una campaña publicitaria podría generar muchos cliqueos y muchos «me gusta», pero no es este precisamente el tipo de comportamiento en el que están interesados. No solo quieren que la gente interactúe con su contenido; quieren que termine comprando su producto o creyendo en su mensaje. Al igual que las personas

con más seguidores no generan necesariamente las mayores cascadas, el contenido más susceptible de ser visto o compartido no generará automáticamente más ingresos o más apoyo.

Al enfrentaros a un nuevo brote de una enfermedad, generalmente queremos conocer dos cosas. ¿Cuáles son las rutas principales de transmisión? ¿Y cuáles de esas rutas deberían ser el objetivo de los esfuerzos de control de la infección? Los comerciales se enfrentan a preguntas similares en el diseño inicial de una campaña. En primer lugar, necesitan saber la forma en la cual alguien puede verse expuesto a un mensaje; a continuación, necesitan decidir en qué rutas de propagación centrarse. La diferencia, por supuesto, es que, mientras que las agencias sanitarias gastan dinero en *bloquear* las vías más importantes de transmisión, las agencias de publicidad ponen su dinero en *expandirlas* .

En última instancia, es una cuestión de eficiencia. Ante un brote de enfermedad o al plantear una campaña publicitaria, queremos encontrar la mejor forma de asignar un presupuesto limitado. El problema es que, históricamente, no siempre está claro qué camino lleva a qué resultado. Como supuestamente dijo una vez el pionero del *marketing* John Wanamaker, «la mitad del dinero que gasto en anuncios se despilfarra; el problema es que no sé qué mitad». [424]

El *marketing* moderno ha intentado solucionar este problema vinculando los anuncios que ve la gente a las acciones que realizan a continuación. En los últimos años, la mayoría de los sitios web han empleado un rastreo de los anuncios; si las empresas se anuncian en esos sitios, saben si hemos visto los anuncios y si después hemos realizado búsquedas o comprado algo. Igualmente, si nos interesamos por su producto, una empresa nos puede seguir por internet, mostrándonos más anuncios. [425]

Cuando hacemos clic en un enlace de una página web, a menudo nos convertimos en el sujeto de una subasta que se lleva a cabo a velocidad de vértigo. En unos 0,03 segundos, el servidor del sitio web reunirá toda la información que tiene sobre nosotros y la enviará a su proveedor de anuncios. El proveedor mostrará entonces la información a un grupo de comerciales automatizados que actúan en nombre de los anunciantes. En otros 0,07 segundos, los comerciales habrán pujado por el derecho a mostrarnos un anuncio. El proveedor de anuncios selecciona la puja ganadora y envía el anuncio a nuestro navegador, que introduce el anuncio en la página web mientras se descarga en la pantalla. [426]

La gente no siempre es consciente de que los sitios web funcionan de esta manera. En marzo de 2013, el Partido Laborista británico tuiteó un enlace a una nueva nota de prensa crítica con el entonces secretario de Educación Michael Gove. Un diputado conservador respondió mediante un tuit sobre los anuncios que aparecían en la página web del Partido Laborista. «Ya sé que los laboristas están escasos de fondos, pero no sé si eso justifica un anuncio de “Citas con chicas árabes” en la parte superior de la nota de prensa», escribió. Desgraciadamente para el diputado, otros usuarios señalaron que la página laborista lo que incluía eran anuncios dirigidos a cada usuario: la oferta en pantalla dependía probablemente de la actividad *online* de ese usuario concreto. [427]

Algunos de los rastreadores más modernos han surgido donde uno menos se lo espera. Para investigar la magnitud de la propaganda *online* dirigida a cada usuario específico, el periodista de investigación Jonathan Albright se pasó los primeros meses de 2017 visitando alrededor de un centenar de sitios web de propaganda extremista, el tipo de sitios repletos de teorías de la conspiración, pseudociencia y posiciones políticas de extrema derecha. La mayor parte de los sitios web parecían increíblemente poco profesionales, propios de principiantes. Pero profundizando algo más detrás de esas fachadas, Albright descubrió que ocultaban herramientas de rastreo extremadamente sofisticadas. Esos sitios web estaban recopilando datos detallados sobre identidad personal, historial de búsquedas, incluso movimientos del ratón. Esto les permitía seguir a usuarios susceptibles, alimentándoles con contenido cada vez más extremista. Lo que hacía que los sitios web fuesen tan influyentes no era lo que los usuarios podían ver; era la recopilación de datos que no podían ver. [428]

¿Cuánto valen realmente nuestros datos *online* ? Los investigadores han estimado que los usuarios que se niegan a compartir sus datos de búsquedas valen un 60 por ciento menos para los anunciantes en Facebook. Teniendo en cuenta los ingresos de Facebook en 2019, esto implica que los datos sobre el comportamiento del usuario estadounidense medio valen al menos cuarenta y ocho dólares al año. Al mismo tiempo, Google supuestamente pagó a Apple 12.000 millones de dólares para ser el buscador por defecto del iPhone para 2019. Teniendo en cuenta que hay en uso unos mil millones de iPhones, esto supondría que Google valora nuestras búsquedas a razón de doce dólares por aparato. [429]

Dado que nuestra atención es tan valiosa, las compañías tecnológicas tienen poderosos incentivos para mantenernos *online* . Cuanto más tiempo nos pasemos usando sus productos, más información pueden reunir, y mejor pueden diseñar su contenido y sus anuncios. Sean Parker, el presidente fundador de Facebook, se refirió en una ocasión a la mentalidad de los primeros creadores de aplicaciones para las redes sociales. En 2017 afirmó que «todo el proceso mental era del tipo: "¿Cómo podemos consumir la mayor parte posible de nuestro tiempo y de nuestra atención consciente?"». [430] «Competimos con las horas de sueño», tal como bromeó el ejecutivo de Netflix Reed Hastings en 2017. [431]

Una forma de tenernos pegados a una aplicación es mediante el diseño. Tristan Harris, especialista en ética del diseño tecnológico, ha comparado el proceso con un truco de magia. Las empresas a menudo intentan dirigir nuestras decisiones hacia un resultado determinado. «Igual que los magos. Haces que sea más fácil para un espectador escoger lo que tú quieres que escoja, y más difícil escoger lo que no quieres que escoja». [432] Los trucos de magia consisten en controlar nuestra percepción del mundo; las interfaces pueden hacer exactamente lo mismo.

Las notificaciones son una forma particularmente potente de mantenernos enganchados. El usuario medio de un iPhone desbloquea su teléfono alrededor de ochenta veces al día. [433] Según Harris, este comportamiento es similar al efecto psicológico que provoca la adicción al juego: «Cuando sacamos nuestro teléfono del bolsillo, estamos jugando en una máquina tragaperras para ver qué notificaciones nuevas tenemos». Los casinos incluyen pagos infrecuentes y muy variables para captar la atención de los jugadores. Algunas veces se consigue un premio, algunas veces no se consigue nada. En el caso de muchas aplicaciones, el remitente también puede ver si hemos leído su mensaje, lo que nos impulsa a contestar más rápidamente. Cuanto más interactuamos con la aplicación en cuestión, más necesitamos seguir interactuando. En palabras de Sean Parker, «es un bucle de retroalimentación de validación social. Es el tipo de cosa que se le habría ocurrido a un pirata informático como yo, porque de lo que se trata es de explotar una vulnerabilidad de la psicología humana». [434]

Otras características de diseño nos mantienen en vilo visionando y compartiendo contenidos. Facebook introdujo la «navegación infinita» con la eliminación del engorro de tener que cambiar de página. Un contenido ilimitado es ahora algo común en la mayor parte de las redes sociales; desde

2015, YouTube pone otro vídeo inmediatamente después de que termine el que estamos viendo. El diseño de las redes sociales se centra también en compartir contenido; es difícil subir un contenido sin ver qué están haciendo los demás.

Aunque no todas las características estaban originalmente pensadas para resultar tan adictivas, la gente es crecientemente consciente de cómo las aplicaciones pueden influir en su comportamiento. [435] Hasta los programadores se han hecho más cuidadosos con sus propias invenciones. Justin Rosenstein y Leah Pearlman eran parte del equipo que introdujo el botón de «me gusta» de Facebook. En los últimos años, ambos han intentado supuestamente escapar de la tentación de las notificaciones. Rosenstein hizo que su ayudante le pusiese el control parental en su teléfono; Pearlman, que más tarde se haría dibujante, contrató a un gestor de medios para que se ocupase de su página de Facebook. [436]

Además de favorecer las interacciones, el diseño puede también socavarlas. WeChat, la enormemente popular red social china, tenía alrededor de mil millones de usuarios activos en 2019. La aplicación reúne una amplia gama de servicios: los usuarios pueden comprar, pagar sus facturas y reservar viajes, así como mandarse mensajes. También pueden compartir «Momentos» (es decir, imágenes o noticias de los medios) con sus amigos, algo parecido al *feed* de noticias de Facebook. No obstante, a diferencia de Facebook, los usuarios de WeChat solo pueden ver los comentarios de sus amigos. [437] Esto quiere decir que si tienes dos amigos que no son amigos entre sí, no podrán ver todos los comentarios. Esto cambia la naturaleza de las interacciones. En opinión de Dean Eckles, «esto impide que surja lo que podríamos definir como una conversación. Cualquiera que escriba un comentario sabe que es posible que sea interpretado completamente fuera de contexto, porque el resto puede que solo vea su comentario y no lo que ha ocurrido con anterioridad en ese hilo». Facebook y Twitter incluyen contenidos ampliamente compartidos con miles de comentarios públicos debajo. Por el contrario, las discusiones en WeChat son, inevitablemente, fragmentarias o confusas, lo que desanima a sus usuarios a intentarlas.

Las redes sociales chinas desincentivan la acción colectiva de varias maneras, incluidas las barreras deliberadas impuestas por la censura gubernamental. Hace unos pocos años, la científica política Margaret Roberts y sus colegas intentaron reconstruir el proceso de censura en China.

Crearon nuevas cuentas, subieron distintos contenidos y esperaron a ver qué es lo que se retiraba de todo ello. A medida que reconstruían los mecanismos de la censura, descubrieron que la crítica a los líderes o a sus políticas no era bloqueada, pero sí lo eran las discusiones sobre protestas o mítines. Roberts acabó clasificando las estrategias de censura en lo que ella denomina las «tres efes»: [438] inundación, miedo y fricción. *Inundando* las plataformas digitales con puntos de vista opuestos, los censores podían acabar ahogando nuestros mensajes. La amenaza de las repercusiones derivadas de quebrantar la ley llevaba al *miedo*. Y la retirada o el bloqueo de contenidos crea *fricción* al ralentizar el acceso a la información. [439]

Durante mi primer viaje a la China continental, recuerdo lo que pasó cuando intenté conectarme al wifi de mi hotel. Me llevó un tiempo averiguar si estaba realmente conectado. Todas las aplicaciones que normalmente cargaría para comprobar mi conexión —Google, WhatsApp, Instagram, Twitter, Facebook, Gmail— estaban bloqueadas. Además de ser una buena demostración del poder del cortafuegos chino, me hizo darme cuenta de la gran influencia de las empresas tecnológicas estadounidenses. El grueso de mi actividad *online* está en manos de solo tres empresas.

Compartimos enormes cantidades de información a través de esas plataformas. Quizá la mejor ilustración de cuántos datos pueden llegar a acumular las empresas tecnológicas se deriva de un estudio de 2013 de Facebook. [440] El estudio se centraba en aquellas personas que habían escrito comentarios en la plataforma pero nunca los habían subido. El equipo de investigación descubrió que el contenido de los *posts* no se reenviaba a los servidores de Facebook, pero sí un registro de si alguien había comenzado a escribir algo. Quizá esta era la justificación del estudio. Pero con independencia de ello, lo que muestra es el nivel de detalle con el que las empresas pueden rastrear nuestro comportamiento y nuestras interacciones *online* . O incluso, en este caso, nuestra falta de interacciones.

Dada la importancia de nuestros datos en las redes sociales, toda organización tendrá mucho que ganar si consigue acceder a ellos. Según Carol Davidsen, que trabajó en la campaña presidencial de Obama en 2012, las normas de privacidad de Facebook en ese momento hacían posible obtener la información sobre la red de amistades de una persona que hubiese apoyado la campaña en esa plataforma. Estas conexiones conferían a la campaña una gigantesca cantidad de información. Tal como dijo más adelante, «podíamos devorar toda la red social de los Estados Unidos que

estuviese en Facebook». [441] Con el tiempo, Facebook eliminó esta posibilidad de acceder a los datos de amistades de los usuarios. Davidsen consideraba que, debido a que los republicanos habían sido lentos a este respecto, los demócratas tenían una información de la que carecían sus oponentes. Ese análisis de datos no quebrantaba ninguna norma, pero sí planteaba preguntas sobre cómo se reúne la información y quién la controla. O como dice Davidsen: «¿Quién se aprovecha del hecho de que tú y yo somos amigos?».

En esa época, muchos aplaudieron la campaña de Obama de uso de datos como muy innovadora. [442] Era un método moderno para una nueva era política. Al igual que la industria financiera se había emocionado con los nuevos productos hipotecarios en la década de 1990, las redes sociales eran vistas como algo que cambiaría la política para siempre. Pero, al igual que las opiniones sobre esos productos financieros, era una actitud que no duraría.

«Oye, guapo, ¿vas a votar en las elecciones?, ¿y por quién?». En la antesala a las elecciones generales del Reino Unido de 2017, miles de personas en busca de una cita en la aplicación de Tinder se encontraron en lugar de ello con esa frase en el chat. Las londinenses Charlotte Goodman y Yara Rodrigues Fowler querían animar a sus colegas veinteañeros a votar a los laboristas, y para ello diseñaron un *bot* para llegar a una audiencia más amplia. [443]

Una vez que habían instalado el *bot* , este establecía automáticamente su localización de Tinder en algún lugar de una circunscripción marginal, contestaba «Sí» a todo el mundo y comenzaba a charlar con cualquier pareja. Si el mensaje inicial era bien recibido, entonces entraban en juego voluntarios que comenzaban una conversación real. El *bot* envió treinta mil mensajes en total, alcanzando a personas que las campañas electorales normalmente dejan fuera. Goodman y Rodrigues Fowler más adelante escribieron que «de vez en cuando, alguien se molestaba por haber estado hablando con un *bot* en lugar de con una persona real, pero hubo muy pocas reacciones negativas. Tinder es una plataforma demasiado informal como para que los usuarios se sientan engañados por formar parte de una conversación política».

Los *bots* hacen posible participar en un número enorme de interacciones al mismo tiempo. Con una red de *bots* , se pueden llevar a cabo acciones a

una escala que simplemente sería imposible si un ser humano lo tuviese que hacer manualmente. Estas redes de *bots* pueden consistir en miles, si no millones, de cuentas. Al igual que los usuarios humanos, los *bots* pueden subir contenidos, comenzar conversaciones y promover ideas. No obstante, el papel de esas cuentas ha empezado a ser visto con suspicacia en los últimos años. En 2016, dos votaciones convulsionaron el mundo occidental: en junio, Gran Bretaña votó a favor de dejar la Unión Europea; en noviembre, Donald Trump ganó la presidencia de los Estados Unidos. ¿Qué había causado ambos eventos? Poco después de ambas votaciones, empezó a especularse con la idea de que la información falsa —mucha de ella creada por Rusia y por grupos de extrema derecha— se había propagado ampliamente durante las dos elecciones. Un gran número de personas en el Reino Unido, y después un gran número de personas en los Estados Unidos, habían sido engañadas por historias falsas subidas por *bots* y otras cuentas cuestionables.

A primera vista, los datos parecen apoyar esta teoría. La evidencia indica que alrededor de cien millones de estadounidenses podrían haber visto comentarios en Facebook promocionados por Rusia durante las elecciones de 2016. Y en Twitter, casi setecientas mil personas en los Estados Unidos habían estado expuestas a propaganda vinculada a Rusia, difundida por cincuenta mil cuentas automatizadas. [444] La idea de que muchos votantes fueron presa de la propaganda subida por sitios web falsos y espías extranjeros es atractiva, especialmente para todos aquellos que, como yo, somos contrarios al Brexit y a Trump. Pero si miramos la evidencia más detenidamente, esta historia tan sencilla empieza a desmoronarse.

A pesar de que había mucha propaganda vinculada a Rusia en circulación durante las elecciones estadounidenses de 2016, Duncan Watts y David Rothschild señalaron que había igualmente otros muchos contenidos circulando. Los usuarios de Facebook pudieron haber estado expuestos al contenido ruso, pero durante ese periodo, los usuarios estadounidenses vieron alrededor de *mil millones* de contenidos en esa misma plataforma. Por cada comentario ruso al que estuvo expuesto un individuo, lo estuvo también de media a otros noventa mil contenidos. Al mismo tiempo, en Twitter, menos del 0,75 por ciento de los tuits relacionados con las elecciones provenían de cuentas vinculadas a Rusia. Tal como señalaron Watts y Rothschild, «en cifras absolutas, la información a la que estuvieron expuestos los votantes durante la campaña electoral fue producida

abrumadoramente no por sitios de noticias falsas o incluso por fuentes de extrema derecha, sino por nombres muy conocidos». [445] De hecho, se ha calculado que en el primer año de su campaña Trump obtuvo el equivalente a casi 2.000 millones de dólares de cobertura gratis por parte de los medios. [446] Watts y Rothschild destacaron la enorme atención dedicada por los medios a la controversia de los correos electrónicos de Hillary Clinton como un ejemplo de las noticias que los medios de comunicación escogían para informar a sus lectores. «En solo seis días, el *New York Times* incluyó tantas noticias de portada sobre los correos electrónicos de Hillary Clinton como sobre todas las restantes materias políticas juntas en los sesenta y nueve días previos a las elecciones».

Otros investigadores han alcanzado una conclusión similar sobre la escala de las fuentes de noticias falsas en 2016. Brendan Nyhan y sus colegas descubrieron que, aunque algunos votantes estadounidenses consumieron una gran cantidad de noticias provenientes de sitios web dudosos, en conjunto eran una minoría. De media, solo un 3 por ciento de los artículos que veía la gente eran publicados en sitios web que propagaban noticias falsas. Posteriormente publicaron otro análisis de las elecciones de mitad de mandato de 2018; los resultados sugerían que las noticias dudosas habían tenido un alcance aún menor durante esas elecciones. También en el caso del Reino Unido existen escasas pruebas de que el contenido ruso dominase las conversaciones en Twitter o en YouTube en la antesala del referéndum sobre la permanencia en la Unión Europea. [447]

De todo ello se podría derivar que no deberíamos preocuparnos de los *bots* ni de los sitios web cuestionables, pero, de nuevo, la cosa no es tan sencilla. Cuando hablamos de manipulación *online* , lo cierto es que lo que está ocurriendo es algo más sutil… y mucho más preocupante.

Benito Mussolini dijo una vez: «Es mejor vivir un día como un león que cien años como una oveja». Sin embargo, según el usuario de Twitter @ilduce2016, la cita es realmente de Donald Trump. Creado originalmente por un par de periodistas del *Gawker* , este *bot* de Twitter ha enviado miles de tuits atribuyendo falsamente frases de Mussolini a Trump. Finalmente, una de ellas captó la atención de Trump, y el 28 de febrero de 2016, justo después de las cuartas primarias republicanas, retuiteó la cita del león. [448]

Mientras que algunos *bots* que operan en las redes sociales pretenden alcanzar una audiencia masiva, otros tienen un rango mucho menor.

Conocidos como «los *bots* del tarro de miel», pretenden atraer la atención de usuarios concretos y tentarles a que respondan. [449] ¿Recuerda que las cascadas de Twitter a menudo se basan en un único evento de difusión? Si quiere que un mensaje se propague, ayuda el hecho de que alguien muy conocido lo amplifique para usted. Debido a que muchos brotes no llegan a despegar, también ayuda tener un *bot* que pueda intentarlo una y otra vez: @ilduce2016 subió contenidos unas dos mil veces antes de que Trump finalmente retuitease una cita. Los creadores de *bots* parecen ser conscientes de lo poderosa que puede ser esta estrategia. Cuando unos *bots* de Twitter subieron contendidos dudosos en 2016-2017, se dirigieron desproporcionadamente a usuarios populares. [450]

No son solo los *bots* los que emplean esa estrategia. Después del tiroteo de 2018 en el instituto de secundaria Marjory Stoneman Douglas en Parkland (Florida), empezaron a circular noticias que afirmaban que el autor de los disparos había sido un miembro de un pequeño grupo de supremacistas blancos asentado en la capital del estado, Tallahassee. No obstante, la historia era falsa. La habían lanzado troles en foros *online* , que se las habían arreglado para persuadir a periodistas curiosos de que la información era verídica. Tal como afirmó un usuario, «solo se necesita un artículo, y todo el mundo se traga la historia». [451]

Aunque investigadores como Watts y Nyhan han sugerido que en 2016 la gente no obtuvo una parte importante de su información a través de fuentes *online* dudosas, esto no quiere decir que las noticias falsas *online* no sean un problema. «Yo creo que sí importan, pero no de la forma que la gente piensa», me dijo Watts durante nuestra entrevista.

Cuando grupos marginales plantean ideas o historias falsas en Twitter, no están necesariamente intentando alcanzar audiencias masivas. Al menos, no al principio. Su objetivo son más bien periodistas o políticos que pasan mucho tiempo en las redes sociales. Su esperanza es que estas personas recojan una idea y la propaguen a una audiencia más amplia. En 2017, por ejemplo, varios periodistas citaban regularmente mensajes tomados de una usuaria de Twitter llamada @wokeluisa, que parecía ser una joven licenciada en Ciencia Política de Nueva York. En realidad, la cuenta estaba gestionada por un grupo trol ruso, que aparentemente tenía como objetivo llegar a los medios de comunicación para conseguir credibilidad y que sus mensajes se amplificasen. [452] Se trata de una táctica común seguida por grupos que quieren que sus ideas se propaguen. Tal como sugirió Whitney

Phillips, investigadora de la Universidad de Syracuse de los medios *online* , «los periodistas no son solo parte del juego de la manipulación informativa. Son el premio gordo». [453]

Una vez que un medio de comunicación recoge una historia, puede generar un efecto de retroalimentación, llevando a que otros también la recojan. Hace unos pocos años, yo mismo experimenté de primera mano sin pretenderlo este efecto de retroalimentación de los medios. Todo empezó cuando le hice un comentario a un periodista de *The Times* (Londres) acerca de la existencia de una curiosidad matemática en la nueva Lotería Nacional (en ese momento, acababa de publicar un libro sobre la ciencia de las apuestas). Dos días después, la historia apareció impresa. La mañana en la que se publicó, me llegó un mensaje a las ocho y media de un productor del programa de ITV *This Morning* , que había visto la historia. A las diez y media de la mañana estaba en directo en la televisión nacional. Poco después, recibí un mensaje de Radio 4 de la BBC; también habían leído el artículo y querían entrevistarme en su programa estrella del mediodía. Y seguirían nuevas invitaciones. Terminé alcanzando una audiencia de millones, y todo a partir de esa historia inicial.

Mi experiencia fue simplemente un accidente inofensivo, aunque algo surrealista. Pero hay personas que se esfuerzan conscientemente en explotar los efectos de retroalimentación de los medios. Así es como la información falsa se puede expandir ampliamente, a pesar del hecho de que la mayor parte de la gente evita los sitios web marginales. En esencia, es una forma de lavado de información. Así como los cárteles de la droga invierten su dinero en negocios legítimos para ocultar su origen, los manipuladores *online* obtienen fuentes creíbles para amplificar y propagar su mensaje, de tal manera que la población lo escuche de boca de una personalidad o un medio de comunicación que les resulte familiar, en lugar de a través de una cuenta anónima.

Ese blanqueo de información hace posible influir en el debate y en la cobertura informática de un tema. Planificando bien a quién dirigir el mensaje y cómo este puede ser amplificado, los manipuladores pueden crear la ilusión de que ciertas políticas o determinados candidatos son muy populares. En el *marketing* , esta estrategia se conoce como *«astroturfing»* , porque imita artificialmente un apoyo espontáneo desde abajo. [454] Esto hace que los políticos y los periodistas tengan en cuenta la historia en cuestión, que, de esta manera, se convierte en una noticia real.

Por supuesto, la influencia ejercida por los medios de comunicación no es algo reciente; hace mucho que se sabe que los periodistas pueden influir en las dinámicas de las noticias. Cuando Evelyn Waugh escribió su novela satírica de 1938 *¡Noticia bomba!* , incluyó en ella la historia de un periodista estrella llamado Wenlock Jakes, que es enviado a cubrir una revolución. Desgraciadamente, Jakes se duerme en el tren y despierta en el país equivocado. Sin ser consciente de su error, fabrica una historia sobre «barricadas en las calles, iglesias en llamas, ametralladoras acompañando el tecleo de su máquina de escribir». Llegan entonces otros periodistas, que, no queriendo quedarse atrás, inventan historias similares. En poco tiempo, la bolsa se derrumba y el país sufre una crisis económica, lo que lleva a la declaración del estado de emergencia, y, finalmente, a la revolución.

El relato de Waugh era ficticio, pero la retroalimentación de las noticias que describe sigue ocurriendo. No obstante, en el mundo de la información moderna hay diferencias importantes. Una de ellas es la velocidad con la que se difunde la información. En cuestión de horas, cualquier cosa puede crecer de meme marginal a tema principal de conversación. [455] Otra diferencia es el coste de generar contagios. Los *bots* y las cuentas falsas son muy baratos de crear, y la amplificación masiva por parte de políticos o periodistas es esencialmente gratis. En algunos casos, artículos falsos populares pueden incluso generar dinero a través de anuncios. Y siempre existe el potencial para la manipulación a través de los algoritmos: si hay grupos que pueden usar cuentas falsas para fabricar el tipo de reacciones que son valoradas por los algoritmos de las redes sociales —tales como comentarios y «me gusta»— podrían ser capaces de hacer que un tema se vuelva popular incluso aunque solo unas pocas personas estén realmente hablando de él.

¿Qué tipo de cosas han intentado popularizarse haciendo uso de estas nuevas herramientas? Desde 2016, *noticias falsas* se ha convertido en un término común para describir la información manipuladora *online* . Y, no obstante, no es un término particularmente útil. La investigadora de la tecnología Renée DiResta ha señalado que la frase puede referirse realmente a varios tipos distintos de contenido, incluido el ciberanzuelo, las teorías de la conspiración, la información falsa y la desinformación. Como hemos visto, el ciberanzuelo consiste simplemente en tentar a la gente a visitar una página web; los enlaces a menudo llevan a noticias reales. Por el contrario, las teorías de la conspiración retuercen historias reales para

incluir una «verdad secreta», que puede hacerse más exagerada o más elaborada a medida que crece la teoría conspirativa. Y después está la información falsa, que DiResta define como contenido falso que generalmente se comparte accidentalmente. Esto puede incluir bulos y bromas pesadas, que se crean para ser deliberadamente falsas pero que después se difunden involuntariamente por personas que creen que son ciertas.

Finalmente, tenemos la forma más peligrosa de noticias falsas: la desinformación. Una idea común acerca de la desinformación es que su objetivo es hacerte creer que algo es falso. En realidad, es algo más sutil que eso. Durante la Guerra Fría la KGB enseñaba a sus agentes en el extranjero a crear contradicciones en la opinión pública y a socavar la confianza en las noticias veraces. [456] En esto consiste la desinformación. No se trata de convencerte de que historias falsas son ciertas, sino de hacerte dudar de la noción misma de verdad. El objetivo es retorcer los hechos, haciendo difícil captar lo que es real. Y la KGB no solo propagaba eficazmente la desinformación; sabía cómo conseguir amplificarla. Tal como afirma DiReta, «en los buenos viejos tiempos en los que los espías de la KGB desarrollaron esta táctica, el objetivo era captar un gran medio de comunicación, porque eso proporcionaba legitimidad y la distribución deseada». [457]

Más o menos en la última década, un puñado de comunidades *online* han sido particularmente exitosas en colocar sus mensajes. Uno de los primeros ejemplos de ello se produjo en septiembre de 2008, cuando un usuario escribió un comentario en el tablón de mensajes *online* del programa televisivo de Oprah Winfrey. El usuario afirmaba representar a una extensa red de pedofilia, que incluía a unos nueve mil miembros. Pero el comentario no era lo que parecía: la expresión «unos nueve mil» —que es una referencia al grito de un luchador sobre el nivel de poder de su oponente en la serie de dibujos animados *Bola de Dragón Z* — era realmente un meme proveniente de 4chan, un tablón *online* de mensajes anónimos muy popular entre los troles. Para satisfacción de los usuarios de 4chan, Winfrey se tomó en serio la historia de la pedofilia y leyó la frase en directo. [458]

Foros *online* como 4chan —y otros como Reddit y Gab— actúan a todos los efectos como incubadoras de memes contagiosos. Los usuarios que suben imágenes y eslóganes pueden desencadenar un gran número de

nuevas variantes. Estos memes recién mutados se propagan y compiten en los foros, con el resultado de que los más contagiosos sobreviven y los más débiles desaparecen. Es un ejemplo de supervivencia de los más aptos, el mismo tipo de proceso que se produce en la evolución biológica. [459] Aunque no se parece ni de lejos a la evolución milenaria que experimentan los patógenos, este tipo de evolución también tiene la capacidad de conferir una gran ventaja a los contenidos *online* .

Uno de los trucos evolutivos más exitosos desarrollados por los troles ha sido la creación de memes absurdos o extremos, de tal manera que es difícil decir si van en serio o no. Este enfoque irónico puede ayudar a que puntos de vista desagradables se difundan aún más de lo que lo harían normalmente. Si los usuarios se ofenden, el creador del meme puede decir que era una broma; si los usuarios asumen que era una broma, el meme no recibirá críticas. Los grupos de supremacistas blancos también han adoptado esta táctica. Un libro de estilo de la página web del *Daily Stormer* que fue filtrado al público aconsejaba a sus escritores mantener un tono ligero para no repeler a los lectores: «En general cuando se usen insultos racistas, debe parecer que se hace medio en broma». [460]

A medida que crece el protagonismo de los memes, pueden llegar a convertirse en un recurso efectivo para políticos duchos en los medios de comunicación. En octubre de 2018, Donald Trump adoptó el eslogan «Trabajos, no turbas», que venía a decir que los republicanos favorecían la economía por encima de la inmigración. Al investigar los periodistas su fuente, descubrieron que el meme probablemente se había originado en Twitter. Había evolucionado por un tiempo en los foros de Reddit, haciéndose gradualmente más pegadizo, antes de propagarse más ampliamente. [461]

No son solo los políticos los que pueden pescar contenidos marginales. Los rumores e informaciones falsas *online* han provocado ataques contra minorías en Sri Lanka y Birmania, así como brotes de violencia en México y la India. Al mismo tiempo, hay campañas de desinformación que se dedican a fomentar los argumentos de los dos bandos de una disputa. En 2016 y 2017, grupos de troles rusos crearon supuestamente múltiples eventos en Facebook, con el objetivo de fomentar que grupos de oposición organizasen protestas de extrema derecha y contraprotestas. [462] Las noticias falsas sobre cuestiones específicas como la vacunación también pueden generar un malestar social más amplio; la desconfianza en la ciencia

tiende a asociarse con la desconfianza en el Gobierno y en el sistema judicial. [463]

La propagación de información dañina no es un problema nuevo. Ni siquiera lo es el término *noticias falsas* , que ya a finales de la década de 1930 se hizo brevemente popular. [464] Pero la estructura de las redes *online* lo ha transformado en algo que avanza más rápido, de una magnitud superior y menos intuitivo. Al igual que ciertas enfermedades infecciosas, la información puede evolucionar para propagarse de manera más eficiente. Así que ¿qué podemos hacer al respecto?

El gran terremoto que afectó al este de Japón fue el mayor de la historia del país. Fue lo suficientemente potente como para hacer que el eje terrestre se moviese unos cuantos centímetros, y fue seguido de un tsunami que provocó olas de cuarenta metros. Y entonces empezaron los rumores. Tres horas después del inicio del terremoto el 11 de marzo de 2011, un usuario de Twitter afirmaba que se podría producir lluvia tóxica como consecuencia de la explosión de un depósito de gas. La explosión era real, pero la lluvia tóxica no. Aun así, los hechos no detuvieron la especulación. En un solo día, miles de personas habían visto y compartido la advertencia falsa. [465]

En respuesta al rumor, el Gobierno de la cercana ciudad de Urayasu tuiteó un desmentido. A pesar de que la información falsa partía con ventaja, la difusión del desmentido pronto la alcanzó. La tarde posterior, más usuarios habían retuiteado el desmentido que el rumor original. De acuerdo con un grupo de investigadores de Tokio, una respuesta más rápida habría tenido aún más éxito. A través de modelos matemáticos estimaron que si el desmentido se hubiese emitido solo dos horas antes, el brote del rumor habría sido un 25 por ciento menor.

Un desmentido rápido podría no ser capaz de parar un brote, pero lo ralentizaría. Un grupo de investigadores en Facebook han descubierto que si los usuarios alertan rápidamente de que un amigo ha compartido un bulo —como, por ejemplo, un plan para hacerse rico rápidamente— hay una probabilidad de hasta un 20 por ciento de que el amigo elimine el comentario donde se incluye el bulo. [466] En algunos casos, hay empresas que han ralentizado deliberadamente la transmisión de contenidos alterando la estructura de sus aplicaciones. Después de una serie de ataques en la India vinculados a rumores falsos, WhatsApp hizo más difícil que los usuarios pudiesen compartir contenidos. En lugar de poder compartir

mensajes con alrededor de un centenar de personas, los usuarios en la India estarían limitados a solo cinco. [467]

Nótese como estas contramedidas funcionan al dirigirse a distintos aspectos del número de reproducción. WhatsApp redujo las oportunidades de transmisión. Los usuarios de Facebook convencieron a sus amigos de que eliminasen un comentario, lo que redujo la duración de su capacidad de contagio. El Ayuntamiento de Urayasu redujo la susceptibilidad al exponer a miles de personas a la información correcta antes de que viesen el rumor. Al igual que en el caso de las enfermedades, algunos elementos del número de reproducción podrían ser más fáciles de modificar que otros. En 2019, Pinterest anunció que había bloqueado el contenido antivacunas de las búsquedas (es decir, había eliminado oportunidades de transmisión) después de haber intentado eliminarlo completamente, lo que habría frenado la duración de su capacidad de contagio. [468]

Y después está el aspecto final del número de reproducción: la transmisibilidad inherente de una idea. Recordemos cómo existen directrices en los medios referidas a noticias sobre eventos como los suicidios, para limitar el potencial de contagio. Investigadores como Whitney Phillips han sugerido que tratemos de la misma forma la información manipuladora, evitando una cobertura que haga que el problema se propague aún más. En su opinión, «en cuanto informas sobre un bulo o alguna otra manipulación de los medios, estás legitimándola, y proporcionando esencialmente un modelo que cualquiera va a saber que funciona». [469]

Eventos recientes han mostrado que algunas empresas de medios de comunicación todavía tienen que mejorar mucho a este respecto. Tras el ataque contra varias mezquitas en Christchurch (Nueva Zelanda), varias de estas empresas ignoraron las directrices sobre información de atentados terroristas. Muchas de ellas publicaron el nombre del autor de los atentados, detallaron su ideología o incluso enlazaron un vídeo con su manifiesto. Lo más preocupante es que esta información logró cuajar: era mucho más probable que las historias que fueron ampliamente compartidas en Facebook quebrantasen las directrices. [470]

Esto muestra que necesitamos repensar cómo interactuamos con las ideas maliciosas, y sobre quién se beneficia realmente cuando les prestamos atención. Un argumento común para publicar opiniones extremistas es que acabarían difundiéndose de todas maneras, incluso sin la amplificación de

los medios. Pero los estudios sobre el contagio *online* han mostrado lo contrario: un contenido raramente llega muy lejos sin eventos de difusión que lo amplifiquen. Si una idea se hace popular, es generalmente porque personalidades muy conocidas y empresas de medios de comunicación han ayudado a su difusión, ya sea deliberadamente o de manera involuntaria.

Desgraciadamente, la naturaleza cambiante del periodismo hace más difícil resistirse a la manipulación de los medios. Un deseo creciente por que compartan sus contenidos *online* y por obtener más clics ha hecho que muchas empresas estén expuestas a ser explotadas por personas portadoras de ideas contagiosas y capaces de generar mucha atención. Esto atrae a troles y a manipuladores, que tienen una comprensión mucho mejor del contagio *online* que la mayoría. Desde un punto de vista tecnológico, la mayor parte de los manipuladores no están abusando del sistema. Están siguiendo sus incentivos. Tal como dijo Phillips, «lo más artero de todo ello es que usan las redes sociales precisamente de la forma en que están diseñadas para usarse». En el curso de sus investigaciones, ha entrevistado a docenas de periodistas, muchos de los cuales se sienten incómodos porque saben que se están beneficiando de historias que reflejan opiniones extremistas. Un periodista le dijo que «es algo realmente bueno para mí, pero muy malo para el país». Para reducir el potencial de contagio, Phillips considera que, junto con la historia, hay que discutir el proceso de manipulación. «Que quede claro en la noticia que la propia historia es parte de una cadena de amplificación, que el periodista es parte de una cadena de amplificación: hay que destacar estas cosas en la cobertura de la noticia».

Aunque el periodismo puede jugar un papel muy importante en la difusión de la información, existen otros eslabones en la cadena, fundamentalmente las redes sociales. Pero el estudio del contagio en estas plataformas es más complicado que reconstruir una secuencia de casos de enfermedad o de incidentes con armas de fuego. El ecosistema *online* tiene un número masivo de dimensiones, con miles de millones de interacciones sociales y una enorme variedad de potenciales rutas de transmisión. No obstante, a pesar de su complejidad, las soluciones propuestas para frenar la información dañina son en muchas ocasiones unidimensionales, centradas en hacer más de una cosa o menos de otra.

Como cualquier cuestión compleja, probablemente no haya una respuesta simple y definitiva. Tal como me dijo Brendan Nyhan, «pienso que los cambios que estamos experimentando son similares a lo que ocurrió en los

Estados Unidos en la guerra contra las drogas. Estamos pasando del "este es un problema que tenemos que solucionar" al "esta es una situación crónica que tenemos que gestionar". La vulnerabilidad psicológica que hace que los seres humanos sean proclives a los errores de percepción no va a desaparecer. Las herramientas *online* que ayudan a que estos errores se propaguen tampoco van a desaparecer». [471]

Lo que podemos hacer es trabajar para hacer más resistentes a la manipulación a las empresas de medios de comunicación, las organizaciones políticas y las plataformas de redes sociales —y también a nosotros mismos—. Para empezar, esto supone tener una comprensión mucho mejor del proceso de transmisión. No basta con concentrarse en unos pocos grupos, o países, o plataformas. Al igual que los brotes de enfermedades, la información raramente respeta las fronteras. Así como la culpa de la «gripe española» recayó sobre España porque era el único país que informaba sobre los casos, nuestra idea acerca del contagio *online* puede estar sesgada por nuestra percepción de dónde se producen brotes. En años recientes, grupos de investigadores han publicado casi cinco veces más estudios que analizan el contagio en Twitter que en Facebook, a pesar de que este último tiene siete veces más usuarios. [472] Esto es así porque ha sido mucho más fácil para los investigadores el acceso a los datos públicos de Twitter que ver lo que se está difundiendo en aplicaciones cerradas como Facebook o WhatsApp.

Es posible que la situación cambie —en 2019, Facebook anunció que estaba trabajando con doce equipos de académicos para estudiar los efectos de la plataforma sobre la democracia—, pero todavía va a pasar mucho tiempo hasta que logremos entender el ecosistema informativo. [473] Una de las razones por las cuales el contagio *online* es tan difícil de investigar es que es complicado ver a qué ha estado expuesta la gente. Hace un par de décadas, si queríamos ver qué campañas estaban en circulación, podíamos echar un vistazo a un periódico o encender la televisión. Los mensajes eran visibles, incluso aunque su impacto no estuviese claro. En términos de brotes, todo el mundo podía ver las fuentes de la infección, pero nadie entendía realmente cómo se estaba produciendo la transmisión o qué infección venía de qué fuente. Contrástese esto con el auge de las redes sociales y de las campañas de manipulación que siguen a usuarios específicos por internet. Cuando se trata de difundir ideas, los grupos que en años recientes se han dedicado a sembrar información tienen una

compresión mucho mejor de las rutas de transmisión, pero las fuentes de la infección han permanecido invisibles para todos los demás. [474]

Descubrir y medir la difusión de la información falsa y de la desinformación es algo crucial si queremos diseñar contramedidas efectivas. Sin una buena comprensión del contagio, existe el riesgo de o bien culpar a la fuente equivocada, al estilo «malos aires», o de proponer estrategias simplistas como la abstinencia que —como ocurre con la prevención de las ETS— podrían funcionar en teoría, pero no en la práctica. Si explicamos el proceso de transmisión, tendremos una mayor capacidad de evitar errores epidemiológicos como estos.

También podremos aprovecharnos de los efectos secundarios beneficiosos de una medida. Cuando algo es contagioso, una medida de control tiene efectos directos e indirectos. Piénsese en la vacunación. Vacunar a alguien tiene un efecto directo porque evitará que se contagie; también tiene un efecto indirecto porque no transmitirá la infección a otros. Cuando vacunamos a una población, nos beneficiamos, por tanto, de los efectos directos e indirectos.

Lo mismo ocurre con el contagio *online* . Controlar el contenido dañino tendrá un efecto directo, evitando que una persona lo vea, así como un efecto indirecto, evitando que se propague a otros. Esto significa que medidas bien diseñadas podrían ser desproporcionadamente efectivas. Una pequeña caída en el número de reproducción puede llevar a una gran reducción del tamaño de un brote.

«¿Es malo pasar tanto tiempo enganchado a las redes sociales?», se preguntaron dos investigadores de Facebook a finales de 2017. David Ginsberg y Moira Burke habían sopesado la evidencia sobre los efectos del uso de las redes sociales sobre el bienestar. Los resultados, publicados por Facebook, sugerían que no todas las interacciones eran beneficiosas. Por ejemplo, la investigación previa de Burke había descubierto que recibir mensajes sinceros de amigos íntimos parecía mejorar el bienestar de los usuarios, pero recibir reacciones ocasionales —como los «me gusta»—, no. En opinión de Ginsberg y Burke, «igual que si fuese en persona, interactuar con alguien a quien quieres puede ser beneficioso, mientras que simplemente ver a otros desde la barrera podría hacerte sentir peor». [475]

La capacidad de comprobar hipótesis tradicionales sobre el comportamiento humano es una gran ventaja de los estudios *online* . En la

última década aproximadamente, los investigadores han empleado bases de datos masivas para cuestionar viejas ideas sobre la difusión de la información. Estas investigaciones ya han puesto en duda concepciones erróneas sobre la influencia, la popularidad y el éxito *online* . Han derribado incluso el concepto de que algo «se ha hecho viral». Los métodos *online* están también encontrando su aplicación en el análisis de enfermedades; al adaptar técnicas empleadas para estudiar los memes *online* , los investigadores de la malaria han descubierto nuevas formas de detener la propagación de la enfermedad en América Central. [476]

Las redes sociales podrían ser las que más han transformado nuestras interacciones, pero no son las únicas redes que han estado creciendo en nuestras vidas. Como veremos en el siguiente capítulo, las conexiones tecnológicas se están expandiendo de otras maneras, con nuevos vínculos que permean nuestras rutinas diarias. Esa tecnología puede ser enormemente beneficiosa, pero también puede crear nuevos riesgos, dado que cada nueva conexión es también una nueva ruta de contagio potencial.

---

[344] Información sobre BuzzFeed: Peretti, J., «My Nike media adventure», *The Nation* , 9 de abril de 2001; correspondencia por correo electrónico entre Peretti y representantes de atención al cliente en Nike iD consultada en enero de 2018, www.yorku.ca/dzwick/niked.htlm; Salmon, F., «BuzzFeed's Jonah Peretti goes long», *Fusion* , 11 de junio de 2014; Lagorio-Chafkin, C., «The humble origins of BuzzFeed», *Inc.* , 3 de marzo de 2014; Rice, A., «Does BuzzFeed know the secret?», *New York Magazine* , 7 de abril de 2013.

[345] Peretti, «My Nike media adventure».

[346] Información y citas de una entrevista del autor con Duncan Watts, febrero de 2018. Una discusión más detallada de esta investigación se puede encontrar en Watts, D., *Everything is Obvious: Why Common Sense is Nonesense* , Londres: Atlantic Books, 2011.

[347] Milgram, S., «The small-world Problem», *Psychology Today* , 1967.

[348] Dodds, P. S. *et al.* , «An experimental study of search in global social networks», *Science* , 2003.

[349] Bakshy, E. *et al.* , «Everyone's an influencer: quantifying influence on Twitter», *Proceedings of the Fourth ACM International Conference on Web Search and Data Mining (WSDM'11)* , 2011.

[350] Aral, S. y D. Walker, «Identifying influential and susceptible members of social networks», *Science* , 2012.

[351] Aral, S. y P. Dillon, «Social influence maximization under empirical influence models», *Nature Human Behavior* , 2018.

[352] Datos de Ugander, J. *et al.* , «The anatomy of the Facebook social graph», arXiv, 2011, https://arxiv.org/abs/1111.4503; Kim, D. A. *et al.* , «Social network targeting to maximise population behavior change: a cluster randomised controlled trial», *The Lancet* , 2015; Newman,

M. E., «Assortative mixing in networks», *Physical Review Letters* , 2002, Apicella, C., L. *et al.* , «Social networks and cooperation in hunter-gatherers», *Nature* , 2012.

[353] Una conclusión apoyada por los siguientes estudios: Aral y Dillon, «Social influence maximization under empirical influence models»; Bakshy *et al.* , «Everyone's an influencer»; Kim *et al.* , «Social network targeting to maximise population behaviour change».

[354] Buckee, C. O. F. *et al.* , «The effects of host contact network structure on pathogen diversity and strain structure», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* , 2004; Kucharski, A., «Study epidemiology of fake news», *Nature* , 2016.

[355] Bessi, A. *et al.* , «Science vs. conspiracy: collective narratives in the age of misinformation», *PLOS ONE* , 2015; Garimella, K. *et al.* , «Political discourse on social media: echo chambers, gatekeepers, and the price of bipartisanship», *Proceedings of the World Wide Web Conference* , 2018.

[356] Goldacre, B., *Mala ciencia* , Barcelona: Paidós Ibérica, 2011; editores de *The Lancet* , «Retraction: ileal-lymphoid-nodular hyperplasia, non-specific colitis, and pervasive developmental disorder in children», *The Lancet* , 2010.

[357] Finnegan, G., «Rise in vaccine hesitancy related to pursuit of purity», *Horizon Magazine* , 26 de abril de 2018; Larson, H. J., «Maternal immunization: the new "normal" (or it should be)», *Vaccine* , 2015; Larson, H. J. *et al.* , «Tracking the global spread of vaccine sentiments: the global response to Japan's suspension of its HPV vaccine recommendation», *Human Vaccines and Immunotherapeutics* , 2014.

[358] Información sobre la variolación: «Variolation: an overview», *Science-Direct Topics* , 2018.

[359] Voltaire, «Carta XI» de *Cartas a los ingleses* (1734).

[360] Información sobre el trabajo de Bernoulli: Dietz, K. y J. A. P. Heesterbeek, «Daniel Bernoulli's epidemological model revisited», *Mathematical BioSciences* , 2002; Colombo, C. y M. Diamanti, «The smallpox vaccine: the dispute between Bernoulli and d'Alembert and the calculus of probabilities», *Lettera Matematica International* , 2015.

[361] Existe una amplia literatura sobre la seguridad y eficacia de las vacunas SPR y contra el sarampión. Por ejemplo, Smeeth *et al.* , «MMR vaccination and pervasive developmental disorders: a case-control study», *The Lancet* , 2004; Hviid, A. *et al.* , «Measles, mumps, rubella vaccination and autism: a nationwide cohort study», *Annals of Internal Medicine* , 2019; LeBaron, C. W. *et al.* , «Persistence of measles antibodies after 2 doses of measles vaccine in postelimination environment», *JAMA Pediatrics* , 2007.

[362] *Wellcome Global Monitor 2018* , 19 de junio de 2019, https://wellcome.ac.uk/reports/wellcome-global-monitor/2018.

[363] Finnegan, G., «Rise in vaccine hesitancy related to pursuit of purity», *Horizon Magazine* , 26 de abril de 2018.

[364] Funk, S. *et al.* , «Combining serological and contact data to derive target immunity levels for achieving and maintaining measles elimination», *BioRxiv* , 2019.

[365] «Measles: Europe sees record number of cases and 37 deaths so far this year», *British Medical Journal* , 2018.

[366] Bakshy, E. *et al.* , «Exposure to ideologically diverse news and opinion on Facebook», *Science* , 2015; Tufekci, Z., «How Facebook's algorithm suppresses content diversity (modestly) and how the newsfeed rules your clicks», *Medium* , 7 de mayo de 2015, https://medium.com/message/how-

facebook-s-algorithm-supresses-content-diversity-modestly-how-the-newsfeed-rules-the-clicks-b5f8a4bb7bab.

[367] Flaxman, S. *et al.* , «Filter bubbles, echo chambers and online news consumption», *Public Opinion Quarterly* , 2016.

[368] Bail, C. A. *et al.* , «Exposure to opposing views on social media can increase political polarization», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* , 2018.

[369] Duggan, M. y A. Smith, *The Political Environment on Social Media* , Pew Research Center, 25 de octubre.

[370] Boyd, d. m., «Taken out of context: American teen sociality in network publics», tesis doctoral, Universidad de California en Berkeley, 2008.

[371] Un ejemplo antiguo: «Dead pet UL?», publicado en alt.folklore.urban, 10 de julio de 1992.

[372] Voltaire a Étienne Noël Damilaville, 16 de mayo de 1767.

[373] Suler, J., «The online disinhibition efect», *Cyberpsychology and Behavior* , 2004.

[374] Cheng, J. *et al.* , «Antisocial behavior in online discussion communities», presentación, Novena Conferencia Internacional AAAI sobre la Web y las Redes Sociales, 2015; Cheng, J. *et al.* , «Anyone can become a troll: causes of trolling behavior in online discussions», *Proceedings of the 2017 ACM Conference on Computer. Supported Cooperative Work and Social Computing* , 2017.

[375] Kramer, A. D. I. *et al.* , «Experimental evidence of massive-scale emotional contagion through social networks», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* , 2014; D'Onfro, J., «Facebook researchers responds to backlash against "creepy" mood manipulation study», *Insider* , 29 de junio de 2014.

[376] Griffin, A., «Facebook manipulated users' moods in secret experiment», *The Independent* , 29 de junio de 2014: Arthur, C., «Facebook emotion study breached ethical guidelines, researchers say», *The Guardian* , 30 de junio de 2014.

[377] Ejemplos: Raine, R. *et al.* , «A national cluster-randomised controlled trial to examine the effect of enhanced reminders on the socio-economic gradient in uptake in bowel cancer screening», *British Journal of Cancer* , 2016; Kitchener, H. C. *et al.* , «A cluster randomised trial of strategies to increase cervical screening uptake at first invitation (STRATEGIC)», *Health Technology Assessment* , 2016. Vale la pena tener en cuenta que, a pesar de su amplio uso, el concepto de «experimento aleatorizado» (a menudo denominado «prueba A/B») parece poner nerviosa a mucha gente —incluso aunque las opciones individuales sean inocuas y el estudio haya sido diseñado de acuerdo con criterios éticos—. Un estudio de 2019 descubrió que «muchas personas frecuentemente consideran que las pruebas A/B diseñadas para establecer la efectividad comparada de dos políticas o tratamientos son inapropiadas incluso cuando la aplicación de A o B, incluso sin pruebas previas, sea considerada apropiada». Fuente: Meyer, N. N. *et al.* , «Objecting to experiments that compare two unobjectionable policies or treatments», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* , 2019.

[378] Salganik, M., *Bit by Bit: Social Research in the Digital Age* , Princeton (Nueva Jersey): Princeton University Press, 2017.

[379] Berger, J. y K. L. Milkman, «What makes online content viral?», *Journal of Marketing Research* , 2011.

[380] Heath, C. *et al.* , «Emotional selection in memes: the case of urban legends», *Journal of Personality and Social Psychology* , 2001.

[381] Tufekci, Z., «YouTube, the great radicalizer», *New York Times* , 10 de marzo de 2018.

[382] Baquero, F. *et al.* , «Ecology and evolution on antibiotic resistance», *Environmental Microbiology Reports* , 2009.

[383] De Domenico, M. *et al.* , «The anatomy of a scientific rumor», *Scientific Reports* , 2013.

[384] Goel, S. *et al.* , «The structural virality of online diffusion», *Management Science* , 2016.

[385] Goel, S. *et al.* , «The structure of online diffusion networks», *EC'12: Proceedings of the 13th ACM Conference on Electronic Commerce* , 2012; Tatar, A. *et al.* , «A survey on predicting the popularity of web content», *Journal of Internet Services and Applications* , 2014.

[386] Watts, D. J. *et al.* , «Viral marketing for the real world», *Harvard Business Review* , 2007.

[387] Método a partir de Blumberg, S. y J. O. Lloyd Smith, «Inference of R0 and transmission heterogeneity from the size distribution of stuttering chains», *PLOS Computational Biology* , 2013. Este cálculo funciona incluso aunque potencialmente se den eventos de superpropagación.

[388] Chowell, G. *et al.* , «Transmission potential of influenza A/H7N9, February to May 2013, China», *BMC Medicine* , 2013.

[389] Watts *et al.* , «Viral marketing for the real world». Nótese que las cuestiones técnicas relacionadas con la campaña de correos electrónicos podrían haber reducido artificialmente el número de reproducción del Tide.

[390] Breban, R. *et al.* , «Interhuman transmissibility of Middle East respiratory syndrome coronavirus: estimation of pandemic risk», *The Lancet* , 2013.

[391] Geoghegan, J. L. *et al.* , «Virological factors that increase the transmissibility of emerging human viruses», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* , 2016.

[392] García-Sastre, A., «Influenza virus receptor specificity», *American Journal of Pathology* , 2010.

[393] Adamic, L. A. *et al.* , «Information evolution in social networks», *Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Web Search and Data Mining (WSDM'16)* , 2016.

[394] Cheng, J. *et al.* , «Do diffusion protocols govern cascade growth?», *AAAI Publications* , 2018.

[395] Información sobre las transmisiones iniciales de BuzzFeed: Rice, A., «Does BuzzFeed know the secret», *New York Magazine* , 7 de abril de 2013.

[396] Watts *et al.* , «Viral marketing for the real world». Para facilitar su lectura, la abreviatura «<» ha sido reemplazada por «menor que» en el texto.

[397] «Who are the most social publishers on the web?», *Guardian Datablog* , 3 de octubre de 2013, www.theguardian.com/news/datablog/2013/oct/03/who-are-most-social-publishers-web-buzzfeed#data.

[398] Citado en Salmon, F., «BuzzFeed's Jonah Peretti goes long», *Medium* , 11 de junio de 2014, https://medium.com/matter/buzzfeeds-jonah-peretti-goes-long-e98cf13160e7.

[399] Martin, T. *et al.* , «Exploring limits to prediction in complex social systems», *Proceedings of the 25th International Conference on World Wide Web* , 2016.

[400] Shulman, B. *et al.* , «Predictability of popularity: gaps between prediction and understanding», *International Conference on Web and Social Media* , 2016.

[401] Cheng, J. *et al.* , «Can cascades be predicted?», *Proceedings of the 23rd International Conference on World Wide Web* , 2014.

[402] Yucesoy, B. *et al.* , «Success in books: a big data approach to best-sellers», *EPJ Data Science* , 2018.

[403] McMahon, V., «#Neknominate girl's shame: I'm sorry for drinking a goldfish», *Irish Mirror* , 5 de febrero de 2014.

[404] Muchos vídeos de NekNomination pueden verse en YouTube. Fricker, M., «RSPCA hunt yob who downed NekNomination cocktail containing cider, eggs, battery fluid, urine and THREE goldfish», *Mirror* , 5 de febrero de 2014.

[405] Ejemplos de la cobertura recibida: Fishwick, C., «NekNominate: should Facebook ban the controversial drinking game?», *The Guardian* , 11 de febrero de 2014; «Neknomination: Facebook ignores calls for ban after two deaths», *Evening Standard* , 3 de febrero de 2014.

[406] «Neknomination outbreak», *More or Less* , BBC World Service Online, 22 de febrero de 2014, www.bbc.co.uk/programmes/p01sbmjs.

[407] Kucharski, A. J., «Modelling the transmission dynamics of online social contagion», arXiv, 2016, https://arxiv.org/abs/1602.00248.

[408] Investigadores de la Universidad de Warwick descubrieron un nivel similar de predictibilidad. Basándose en las dinámicas de la NekNomination, predijeron correctamente una duración de cuatro semanas del desafío del cubo de agua helada poco después de su aparición unos meses después. Sprague, D. A. y T. House, «Evidence for complex contagion models of social contagion from observational data», *PLOS ONE* , 2017.

[409] Cheng, J. *et al.* , «Do cascades recur?», *Proceedings of the 25th International Conference on World Wide Web* , 2016.

[410] Kucharski, A., «How science is taking the luck out of gambling», presentación en la Royal Institution, 3 de agosto de 2016, vídeo de YouTube, https://www.youtube.com/watch?v=658xlubwnDc; Kucharski, A., «The perfect bet», presentación en Conferencias de Google, 21 de junio de 2016, https://www.youtube.com/watch?v=E6OXuTENvXc.

[411] Crane, R., y D. Sornette, «Robust dynamic classes revealed by measuring the response function of a social system», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* , 2008.

[412] Tan, C. *et al.* , «Lost in propagation? Unfolding news cycles from the source», *Association for the Advancement of Artificial Intelligence* , 2016; Tatar, A. *et al.* , «A survey on predicting the popularity of web content», *Journal of Internet Services and Applications* , 2014.

[413] Vosoughi, S. *et al.* , «The spread of true and false news online», *Science* , 2018.

[414] Ejemplos tomados de Romero, D. M., «Differences in the mechanics of information diffusion across topics: idioms, political hashtags, and complex contagion on Twitter», *Proceedings of the 20th International Conference on World Wide Web* , 2011; State, B., y L. A. Adamic, «The diffusion of support in an online social movement: evidence from the adoption of equal sign profile pictures», *Proceedings of the 18th Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing* , 2015; Guilbeault, D. *et al.* , «Complex contagions: a decade in review», en Lehmann, S. y Y. Ahn (eds.), *Spreading Dynamics in Social Systems* , Londres: Springer Nature, 2018.

[415] Weng, L. *et al.* , «Virality prediction and community structure in social networks», *Scientific Reports* , 2013.

[416] Centola, D., *How Bad Behavior Spreads: The Science of Complex Contagions* , Princeton: Princeton University Press, 2018.

[417] Anderson, C., «The end of theory: the data deluge makes the scientific method obsolete», *Wired* , 23 de junio de 2008.

[418] «Big data, for better or worse: 90% of world's data generated over last two years», *Science Daily* , 22 de mayo de 2013, www.sciencedaily.com/releases/2013/130522085217.htm.

[419] Es una cita que, en esta forma concreta, ha sido ampliamente atribuida a Goodhart. La afirmación original era: «Cualquier regularidad estadística observada tenderá a colapsar una vez que, por motivos de control, se ejerza presión sobre ella». Goodhart, C., «Problems of monetary management: the U. K. experience», en Courakis, A. S. (ed.), *Inflation, Depression and Economic Policy in the West* , Nueva York: Springer, 1981.

[420] Small, J. P., *Wax Tablets of the Mind: Cognitive Studies of Memory and Literacy in Classical Antiquity* , Londres: Routledge, 1997.

[421] Lewis, K. *et al.* , «The structure of online activism», *Sociological Science* , 2014.

[422] Gabielkov, M. *et al.* , «Social clicks: what and who gets read on Twitter?», *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review,* 2016.

[423] Citas de una entrevista del autor con Dean Eckles, agosto de 2017.

[424] Ampliamente atribuido, aunque no hay una fuente primaria clara.

[425] Un ejemplo común de rastreo de anuncios en el Pixel de Facebook. Fuente: «Conversion tracking», Facebook for Developers, 2019, https://developers.facebook.com/docs/facebook-pixel.

[426] Cronología tomada de Lederer, B., «200 milliseconds: the life of a programmatic RTB ad impression», ShellyPalmer.com, 9 de junio de 2014, www.shellypalmer.com/2014/06/200-milliseconds/.

[427] Nsubuga, J., «Conservative MP Gavin Barwell in "date Arab Girls" Twitter gaffe», *Metro* , 18 de marzo de 2013.

[428] Albright, J., «Who hacked the election? Ad tech did. Through "fake news", identify resolution and hyper-personalization», *Medium* , 30 de julio de 2017, https://medium.com/tow-center/who-hacked-the-election-43d4019f705f.

[429] Los ingresos de Facebook en publicidad por usuario en los Estados Unidos y Canadá fueron de treinta dólares en el primer cuatrimestre de 2019, lo que supone ciento veinte dólares al año. Si los usuarios sin datos de búsqueda valen un 60 por ciento menos, esto implica que el valor medio de los datos es (al menos) 120 $ x 0,6 = 72 $. Estimaciones realizadas a partir de «Facebook Q1 2019 results», http://investor.fb.com; Johnson, G. A. *et al.* , «Consumer privacy choice in online advertising: who opts out and at what cost to industry?», documento de trabajo, Simon Business School, 2017; Leswing, K., «Apple makes billions from Google's dominance in search—and it's a bigger business than iCloud or Apple Music», *Business Insider* , 29 de septiembre de 2018; Bell, K., «iPhone's user base to surpass 1 billion units by 2019», *Cult of Mac* , 8 de febrero de 2017.

[430] Pandey, E., «Sean Parker: Facebook was designed to exploit human "vulnerability"», *Axios* , 9 de noviembre de 2017, www.axios.com/sean-parker-facebook-was-designed-to-exploit-human-vulnerability-1513306782-6d18fa32-5438-4e60-af71-13d126b58e41.htlm.

[431] Kafka, P., «Amazon? HBO? Netflix Tthinks its real competitor is… sleep», *Vox* , 17 de abril de 2017, www.vox.com/2017/4/17/15334122/netflix-sleep-competitor-amaxon-hbo.

[432] Información sobre diseño: Harris, T., «How technology is hijacking your mind—from a magician and Google design ethicist», *Medium* , 18 de mayo de 2016, https://medium.com/thrive-

global/how-technology-hijacks-peoples-minds-from-a-magician-and-google-s-design-ethicist-56d62ef5edf3.

[433] Bajarin, B., «Apple's penchant for consumer security», *Tech.pinions* , 18 de abril de 2016, https://techpinions.com/apples-penchant-for-consumer-security/45122.

[434] Pandey, E., «Sean Parker: Facebook was designed to exploit human "vulnerability"».

[435] Aunque ahora es un elemento central de las redes sociales, el botón de «me gusta» se originó en una era *online* muy diferente. Fuente: Locke, M., «How likes went bad», *Medium* , 25 de abril de 2018, https://medium.com/s/a-brief-history-of-attention/how-likes-went-bad-b094ddd07d4.

[436] Lewis, P., «"Our minds can be hijacked": the tech insiders who fear a smartphone dystopia», *The Guardian* , 6 de octubre de 2017.

[437] «Who can see the comments on my Moments posts?», Central de Atención al Cliente de WeChat, octubre de 2018.

[438] Por sus iniciales en inglés: *flooding* , *fear* y *friction* . *(N. del T.)* .

[439] Información sobre la censura: King, G. *et al.* , «Reverse-engineering censorship in China: randomized experimentation and participant observation», *Science* , 2014; Tucker, J., «This explains how social media can both weaken—and strengthen—democracy», *Washington Post* , 6 de diciembre de 2017; entrevista del autor con Margaret Roberts, s. f.

[440] Das, S. y A. Kramer, «Self-censorship in Facebook», *Proceedings of the 7th International Conference on Weblogs and Social Media* , 2013.

[441] Davidsen, C., «You are not a target», charla PDF15, 7 de junio de 2015, www.youtube.com/watch?v=LGiiQUMaShw&feature=youtu.be.

[442] Issenberg, S., «How Obama's team used big data to rally voters», *MIT Technology Review* , 19 de diciembre de 2012.

[443] Información y cita: Rodrigues Fowler, Y. y C. Goodman, «How Tinder could take back the White House», *New York Times* , 22 de junio de 2017.

[444] Solon, O. y S. Siddiqui, «Russia-backed Facebook post "reached 126m Americans" during US election», *The Guardian* , 31 de octubre de 2017; Statt, N., «Twitter says it exposed nearly 700,000 people to Russian propaganda during US elections», *The Verge* , 19 de enero de 2018, www.theverge.com/2018/1/19/16911086/twitter-russia-propaganda-us-presidential-election-bot-accounts-findings.

[445] Watts, D. J. y D. M. Rothschild, «Don't blame the election on fake news. Blame it on the media», *Columbia Journalism Review* , 2017. Véase también Persily, N. y A. Stamos, «Regulating online political advertising by foreign governments and nationals», en McFaul, M. (ed.), *Securing American Elections* , Universidad de Stanford, Cyber Policy Center, junio de 2019.

[446] Confessore, N. y K. Yourish, «$2 billion worth of free media for Donald Trump», *New York Times* , 16 de marzo de 2016.

[447] Fuentes: Guess, A. *et al.* , «Selective exposure to misinformation: evidence from the consumption of fake news during the 2016 U. S. presidential campaign», documento de trabajo, European Research Council, 2018; Guess, A. *et al.* , «Fake news, Facebook ads, and misperceptions: assessing information quality in the 2018 U. S. midterm election campaign», documento de trabajo, 2019; Narayanan, V. *et al.* , «Rus sian involvement and junk news during Brexit», documento de trabajo, 2017.

[448] Pareene, A., «On Twitter, a battle among political bots», *New York Times* , 14 de diciembre de 2016.

[449] Hessdec, A., «How we fooled Donald Trump into retweeting Benito Mussolini», *Gawker* , 28 de febrero de 2016.

[450] Shao, C. *et al.* , «The spread of low-credibility content by social bots», *Nature Communications* , 2018.

[451] Musgrave, S., «How white nationalists fooled the media about Florida shooter», *Politico* , 16 de febrero de 2018, www.politico.com/story/2018/02/16/florida-shooting-white-nationalists-415672.

[452] O'Sullivan, D., «American media keeps falling for Russian trolls», CNN, 21 de junio de 2018.

[453] Phillips, W., «How journalists should not cover an online conspiracy theory», *The Guardian* , 6 de agosto de 2018.

[454] *Astroturfing* es un término creado a partir del nombre de la compañía estadounidense AstroTurf, productora de césped artificial. *(N. del T.)* .

[455] Información sobre manipulación de los medios: Phillips, W., «The oxygen of amplification», *Data and Society Report* , 2018.

[456] Weiss, M., «Revealed: the secret KGB manual for recruiting spies», *Daily Beast* , 27 de diciembre de 2017, www.thedailybeast.com/the-kgb-papers-how-putin-learned-his-spycraft-part-1.

[457] DiResta, R., «These are bots. Look around», *Ribbon Farm* , 23 de mayo de 2017.

[458] «Over 9000 penises», Know Your Meme, 2008, https://knowyourmeme.com/memes/events/over-9000-penises.

[459] Zannettou, S. *et al.* , «On the origins of memes by means of fringe web communities», arXiv, 2018, https://arxiv.org/abs/1805.12512.

[460] Feinberg, A., «This is the Daily Stormer playbook», *Huffington Post* , 13 de diciembre de 2017, www.huffpost.com/entry/daily-stormer-nazi-style-guide_n_5a2ece19e4b0ce3b344492f2.

[461] Collins, K. y K. Roose, «Tracing a meme from the internet's fringe to a republican slogan», *New York Times* , 4 de noviembre de 2018.

[462] Información sobre eventos reales de difusión: O'Sullivan, D., «Russian trolls created Facebook events seen by more than 300,000 users», CNN, 26 de enero de 2018; Taub, A. y M. Fisher, «Where countries are tinderboxes and Facebook is a match», *New York Times* , 21 de abril de 2018. Los análisis del movimiento *online* #BlackLivesMatter también descubrieron cuentas rusas que contribuían a ambos lados del debate: Stewart, L. G. *et al.* , «Examining trolls and polarization with a retweet network», *Proceedings of WSDM Workshop on Misinformation and Misbehavior Mining on the Web (MIS2)* , 2018.

[463] Broniatowski, D. A. *et al.* , «Weaponized health communication: Twitter bots and Russian trolls amplify the vaccine debate», *American Journal of Public Health* , 2018; Wellcome Global Monitor 2018, 19 de junio de 2019, https://wellcome.ac.uk/reports/wellcome-global-monitor/2018.

[464] Google Ngram.

[465] Takayasu, M. *et al.* , «Rumor diffusion and convergence during the 3.11 earthquake: a Twitter case study», *PLOS ONE* , 2015.

[466] Friggeri, A. *et al.* , «Rumor cascades», *AAAI Publications* , 2014.

[467] «WhatsApp suggests a cure for virality», *The Economist* , 26 de julio de 2018.

[468] McMillan, R. y D. Hernandez, «Pinterest blocks vaccination searches in move to control the conversation», *Wall Street Journal* , 20 de febrero de 2019.

[469] Citas de una entrevista del autor con Whitney Phillips, octubre de 2018.

[470] Baumgartner, J. *et al.* , «What we learned from analyzing thousands of stories on the Christchurch shooting», *Columbia Journalism Review* , 2019.

[471] Citas de una entrevista del autor con Brendan Nyhan, noviembre de 2018.

[472] Fuente: Web of Science. Secuencia de búsqueda: (<platform> AND (contagio* OR diffus* OR transmi*). Se han excluido aquellos estudios que solo mencionaban la plataforma como un ejemplo ilustrativo o comparativo, o se centraban en la adopción de la plataforma misma más que en la difusión a través de la plataforma. En total, 391 estudios sobre Twitter y 85 estudios sobre Facebook en 2016-2018; 330 millones de usuarios de Twitter en 2019 frente a 2400 millones de usuarios de Facebook. Fuente para los datos sobre el número de usuarios: https://www.statista.com.

[473] Nelson, A. *et al.* , «The Social Science Research Council announces the first recipients of the Social Media and Democracy Research Grants», *Social Sciences Research Council Items* , 29 de abril de 2019; Alba, D., «Ahead of 2020, Facebook falls short on plan to share data on disinformation», *New York Times,* 29 de septiembre de 2019.

[474] «Casi toda la comunicación digital y la ciencia de los datos era invisible incluso si leías todas y cada una de las noticias o de las columnas referidas a la campaña o cualquiera de los libros publicados hasta ahora». Cita de Cummings, D., «On the referendum #20», *Blog de Dominic Cummings* , 29 de octubre de 2016. En octubre de 2018, Facebook estableció un archivo público de anuncios políticos —un cambio importante, aunque todavía referido únicamente al primer paso del proceso de transmisión de información—. Fuente: Cellan-Jones, R., «Facebook tool makes UK political ads "transparent"», BBC News Online, 16 de octubre de 2018, www.bbc.com/news/technology-45866129.

[475] Ginsberg, D. y M. Burke, «Hard questions: is spending time on social media bad for us?», noticias de Facebook, 15 de diciembre de 2017, https://about.fb.com/news/2017/12/hard-questions-is-spending-time-on-social-media-bad-for-us/; Burke, M. *et al.* , «Social network activity and social well-being», *Proceedings of the 28th International Conference on Human Factors in Computing Systems* , 2010; Burke, M. y R. E. Kraut, «The relationship between Facebook use and well-being depends on communication type and tie strength», *Journal of Computer-Mediated Communication* , 2016.

[476] Routledge, I. *et al.* , «Estimating spatiotemporally varying malaria reproduction numbers in a near elimination setting», *Nature Communications* , 2018.

06

Cómo hacerte el amo de internet

Durante un enorme ciberataque que tumbó los sitios web de Netflix, Amazon y Twitter, los agresores también atacaron los hervidores eléctricos, los frigoríficos y las tostadoras. En 2016, un *software* denominado Mirai infectó miles de pequeños dispositivos inteligentes del hogar en el mundo entero. Estos dispositivos sirven para que sus usuarios controlen cosas como la temperatura a través de aplicaciones *online* , creando conexiones que son vulnerables a la infección. Una vez que estaban infectados por Mirai, los dispositivos pasaron a constituir una vasta red de *bots* y crearon una poderosa arma *online* . [477]

El 21 de octubre de ese año, el mundo descubrió que el arma había sido disparada. Los piratas informáticos detrás de esta red de *bots* habían decidido ir a por Dyn, un popular sistema de nombres de dominios. Estos sistemas son cruciales para navegar en la web. Convierten direcciones web familiares —como Amazon.com— en una dirección numérica IP (protocolo de internet, por sus siglas en inglés) que le dice a tu ordenador dónde encontrar ese sitio en la web. Se puede pensar en ellos como si fueran guías telefónicas para sitios web. Los *bots* Mirai atacaron Dyn inundándolo de peticiones innecesarias, lo que llevó a la paralización del sistema. Debido a que Dyn proporcionaba los detalles de varios sitios web muy importantes, los ordenadores ya no sabían cómo acceder a esos sitios.

Sistemas como Dyn manejan un montón de peticiones cada día sin ningún problema, de manera que se requiere un esfuerzo masivo para sobrecargarlos. Ese esfuerzo era posible gracias a la escala gigantesca de la red de Mirai. Mirai pudo llevar a cabo su ataque —uno de los mayores de la historia— porque era un *software* que no infectaba a los sospechosos habituales. Tradicionalmente, las redes de *bots* estaban formadas por ordenadores o rúteres de internet, pero Mirai se había propagado a través

del «internet de las cosas»; además de utensilios de cocina, había infectado dispositivos como televisores inteligentes y monitores para bebés. Estos dispositivos confieren una ventaja clara en la organización de ciberataques: la gente apaga sus ordenadores por la noche, pero muchas veces dejan encendidos otros aparatos electrónicos. Tal como le dijo un agente del FBI a la revista *Wired* , «Mirai tiene una potencia alucinante». [478]

La escala del ataque de Mirai mostró lo fácilmente que se pueden propagar las infecciones artificiales. Otro ejemplo importante se produciría unos pocos meses después, el 12 de mayo de 2017, cuando un *software* llamado WannaCry comenzó a secuestrar a miles de ordenadores. Primero bloqueó el acceso de los usuarios a sus ficheros, después mandó un mensaje diciendo a los usuarios que tenían tres días para transferir *bitcoins* por valor de trescientos dólares a una cuenta anónima. Si no pagaban, sus ficheros serían bloqueados permanentemente. WannaCry acabaría causando daños generalizados. Cuando alcanzó a los ordenadores del Servicio Nacional de Salud del Reino Unido, llevó a la cancelación de diecinueve mil citas. En cuestión de días, alrededor de un centenar de países se verían afectados, lo que se tradujo en más de mil millones de dólares en daños. [479]

A diferencia de brotes de contagios sociales o de infecciones bio lógicas, que podrían tardar días o semanas en crecer, las infecciones artificiales pueden operar en escalas de tiempo mucho más rápidas. Brotes de *malware* —o «*software* malicioso»— pueden propagarse ampliamente en cuestión de horas. En sus estadios iniciales, los brotes de Mirai y WannaCry doblaban su tamaño cada ochenta minutos. Otros tipos de *malware* se pueden propagar aún más deprisa, doblándose en cuestión de segundos. [480] No obstante, el contagio informático no siempre ha sido tan rápido.

El primer virus informático que se propagó «en campo abierto» (es decir, fuera de una red de laboratorio) comenzó como una broma pesada. En febrero de 1982, Rich Skrenta diseñó un virus dirigido contra los ordenadores domésticos Apple II. Skrenta, un estudiante de secundaria de quince años de Pensilvania, había diseñado el virus para que fuese molesto más que dañino. Los ordenadores infectados desplegarían ocasionalmente un poema corto escrito por él. [481]

El virus, al que llamó Elk Cloner, se propagaba cuando la gente intercambiaba juegos entre ordenadores. Según el científico de redes Alessandro Vespignani, la mayoría de los primeros ordenadores no estaban

conectados a una red, por lo que los virus informáticos eran muy parecidos a las infecciones biológicas. «Se propagaban a través de discos blandos. Era todo cuestión de pautas de contacto y conexiones sociales». [482] Este proceso de transmisión significaba que Elk Cloner no llegaría mucho más allá del grupo de amigos de Skrenta. Aunque alcanzó a sus primos de Baltimore y consiguió llegar al ordenador de un amigo que trabajaba en la Marina de los Estados Unidos, estos contagios a larga distancia fueron más bien raros.

No obstante, la era de los virus localizados y relativamente inofensivos no duraría mucho. Como me dijo Vespignani, «los virus informáticos rápidamente entraron en un mundo completamente distinto. Estaban mutando. Las rutas de transmisión eran diferentes». En lugar de basarse en las interacciones humanas, el *malware* se adaptó para propagarse directamente de ordenador a ordenador. A medida que el *malware* se hacía cada vez más común, las nuevas amenazas necesitaban una nueva terminología. En 1984, el científico de ordenadores Fred Cohen elaboró la primera definición de un virus informático, describiéndolo como un programa que se replica infectando otros programas, al igual que un virus biológico necesita infectar células huéspedes para reproducirse. [483] Siguiendo con la analogía biológica, Cohen comparaba a los virus con «gusanos» informáticos, que podían multiplicarse y propagarse sin aferrarse a otros programas.

Los gusanos *online* empezaron a ser conocidos en 1988 gracias al llamado gusano Morris, creado por el estudiante de Cornell Robert Morris. Arrancó el 2 de noviembre, y se propagó rápidamente a través de Arpanet, una versión inicial de internet. Morris afirmó que la idea era que el gusano se propagase de manera silenciosa, con la intención de estimar el tamaño de la red. Pero un pequeño cambio en su código causaría grandes problemas.

Morris había codificado el programa para que cuando alcanzase a un nuevo ordenador, comprobase si este ya estaba infectado, para evitar instalar múltiples gusanos. El problema era que entonces era fácil para los usuarios bloquear al gusano; básicamente, podían «vacunar» a su ordenador contra el virus imitando una infección. Para esquivar esta posibilidad, Morris hizo que el gusano se pudiese duplicar a sí mismo en un ordenador que ya estuviese infectado. Pero subestimó el efecto que esto provocaría. Cuando fue liberado, el gusano se propagó y se replicó demasiado rápidamente, causando el colapso de muchos ordenadores. [484]

La leyenda dice que el gusano Morris acabó infectando a seis mil ordenadores, alrededor del 10 por ciento del internet de aquel momento. Según el coetáneo de Morris Paul Graham, no obstante, esta era solo una estimación, que pronto se propagó. «A la gente le encantan los números —recordó más tarde—. Y por ello, este se replica hoy continuamente por todo internet, como si él mismo fuese un pequeño gusano». [485]

Incluso si la cifra atribuida al brote de Morris fuese cierta, palidecería en comparación con el impacto del *malware* moderno. Solo un día después del brote de Mirai que comenzó en agosto de 2016, casi 65.000 dispositivos habían sido infectados. Cuando alcanzó su pico, la red de *bots* resultante incluía alrededor de medio millón de máquinas, antes de que su tamaño empezase a disminuir a comienzos de 2017.

Aun así, Mirai era similar al gusano Morris en el hecho de que sus creadores no esperaban que el brote fuese tan incontrolable. Aunque Mirai captaría la atención de los medios cuando afectó a sitios web como Amazon y Netflix en octubre de 2016, la red de *bots* estaba inicialmente diseñada para un objetivo más específico. Cuando el FBI investigó sus orígenes, descubrió que había comenzado con un estudiante universitario de veintiún años llamado Paras Jha, dos de sus amigos y el juego de ordenador Minecraft.

Minecraft tiene unos cincuenta millones de usuarios activos en todo el mundo, que juegan conjuntamente en enormes mundos *online* . El juego ha sido muy lucrativo para su creador, que se compró una mansión de setenta millones de dólares tras vender Minecraft a Microsoft en 2014. [486] También lo ha sido para aquellos que gestionaban los servidores independientes que acogían los distintos escenarios virtuales de Minecraft. Mientras que la mayoría de los juegos multijugador están controlados por una organización central, Minecraft opera en un mercado libre: se puede pagar para acceder a través del servidor que se quiera. A medida que el juego se volvía más popular, algunos propietarios de servidores se encontraron ganando cientos de miles de dólares al año. [487]

Dado que cada vez estaba en juego una cantidad mayor de dinero, unos pocos propietarios decidieron intentar expulsar a sus rivales. Si pudiesen dirigir un volumen suficiente de actividad falsa a otro servidor —lo que se conoce como un ataque de «denegación distribuida del servicio (DDoS, por sus siglas en inglés)»— esto ralentizaría la conexión de los jugadores. A su

vez, los usuarios frustrados buscarían un servidor alternativo, idealmente el de aquellos que habían organizado el ataque. Surgió un mercado armamentístico *online* , con mercenarios que vendían ataques DDoS crecientemente sofisticados y, en muchos casos, protección contra estos.

Y aquí es donde entra en escena Mirai. La red de *bots* era tan poderosa que podría haber superado a cualquier rival que intentase hacer lo mismo. Pero Mirai no se quedó mucho tiempo en el mundo de Minecraft. El 30 de septiembre de 2016, unas pocas semanas antes del ataque contra Dyn, Jha y sus amigos publicaron el código fuente detrás de Mirai en un foro de internet. Es esta una táctica habitual empleada por los piratas informáticos: si el código está disponible públicamente, es más difícil que las autoridades identifiquen a sus creadores. Luego, otra persona —no está claro quién— bajó el código y lo empleó para lanzar un ataque DDoS sobre Dyn.

Los creadores originales de Mirai —que vivían en Nueva Jersey, Pittsburgh y Nueva Orleans— fueron detenidos finalmente cuando el FBI se incautó de dispositivos infectados y siguió trabajosamente la cadena de transmisión hasta la fuente. En diciembre de 2017, los tres se declararon culpables de desarrollar la red de *bots* . Como parte de su sentencia, acordaron trabajar con el FBI para evitar otros ataques similares en el futuro. Un tribunal de Nueva Jersey sentenció también a Jha a pagar 8,6 millones de dólares de indemnización. [488]

La red de *bots* de Mirai se las arregló para paralizar internet al atacar el directorio de direcciones web de Dyn, pero en otras ocasiones, los sistemas de direcciones web han ayudado a detener ataques. A medida que crecía el brote de WannaCry en mayo de 2017, el investigador británico en ciberseguridad Marcus Hutchins se hizo con el código base del gusano. Contenía una dirección web larga e incomprensible —iuqerfsdp9ifjaposdfjhgosurijfaewrwegwea.com— a la que WannaCry aparentemente quería acceder. Hutchins descubrió que el dominio no estaba registrado, así que lo compró por 10,69 dólares. Al hacerlo, provocó involuntariamente un «interruptor asesino» que terminó con el ataque. Como más tarde tuiteó, «confieso que, hasta después de haberlo registrado, no supe que al registrar el dominio se pararía el *malware* , así que inicial mente fue algo accidental. Así que solo puedo añadir a mi currículo que “detuve accidentalmente un ciberataque internacional”». [489]

Una de las razones por las que Mirai y WannaCry se propagaron tan ampliamente fue que los gusanos eran muy eficientes encontrando

dispositivos vulnerables. En términos de un brote, el *malware* moderno puede crear muchas oportunidades de transmisión; de hecho, muchas más que sus predecesores. En 2002, el científico de ordenadores Stuart Staniford y sus colegas escribieron un artículo titulado «Cómo hacerte el amo de internet en tus ratos libres» [490] (en la cultura de los piratas informáticos «ser el amo» significa «controlar algo por completo»). El equipo de investigadores mostró que el gusano Código Rojo, que se había propagado por ordenadores el año anterior, había sido realmente muy lento. De media, cada servidor infectado había contagiado a solo otros 1,8 dispositivos por hora. Era en todo caso un ritmo mucho más rápido que el de la propagación del sarampión, una de las enfermedades infecciosas humanas más contagiosas; en una población susceptible, un enfermo de sarampión contagiará a una media de 0,1 personas por hora. [491] Pero, aun así, era lo suficientemente lento como para que, al igual que un brote humano, a Código Rojo le costase expandirse ampliamente.

Staniford y sus coautores sugirieron que un gusano más ágil y eficiente podría provocar un brote que avanzase más rápidamente. Tomando prestada la famosa cita de Warhol de los «quince minutos de fama», llamaron a su hipotética creación «gusano Warhol», porque podría alcanzar a la mayor parte de sus objetivos en esa cantidad de tiempo. No obstante, la idea no permaneció siendo hipotética por mucho tiempo. Al año siguiente, apareció el primer gusano Warhol cuando un *malware* denominado Slammer infectó a alrededor de 75.000 dispositivos. [492] Mientras que el brote de Código Rojo se había duplicado de tamaño cada treinta y siete minutos, Slammer se duplicaba cada 8,5 segundos.

Slammer se propagó rápidamente al principio, pero pronto perdió impulso a medida que era cada vez más difícil encontrar dispositivos susceptibles. El daño que provocó finalmente fue también limitado. Aunque el enorme volumen de las infecciones de Slammer ralentizó el funcionamiento de muchos servidores, el gusano no estaba diseñado para dañar las máquinas que infectaba. Es otro ejemplo de cómo el *malware* puede ir acompañado de toda una serie de síntomas, justo como las infecciones en la vida real. Algunos gusanos son casi invisibles o despliegan poemas; otros secuestran ordenadores o lanzan ataques DDoS.

Como muestran los ataques a los servidores de Minecraft, existe un mercado activo para los gusanos más potentes. Ese *malware* se vende normalmente en comercios *online* ocultos, como los mercados de la *dark*

net —o «red oscura»— que operan fuera de los sitios web visibles y familiares a los que podemos acceder mediante buscadores normales. Cuando la empresa de seguridad Kaspersky Lab investigó las opciones disponibles en estos mercados, descubrió que había gente que se ofrecía a programar ataques DDoS de cinco minutos por solo cinco dólares, mientras que un ataque que durase un día entero costaba alrededor de cuatrocientos dólares. Kaspersky calculó que organizar una red de *bots* de alrededor de un millar de ordenadores costaría unos siete dólares a la hora. Los vendedores cobraban una media de veinticinco dólares por ataques de esta duración, obteniendo un buen margen de beneficios. [493] El año del ataque del WannaCry, se estimaba que el mercado de *ransomware* en la «red oscura» tenía un valor de millones de dólares, y algunos vendedores obtenían salarios de seis cifras (libres de impuestos, por supuesto). [494]

A pesar de la popularidad del *malware* entre grupos criminales, se sospecha que algunos de los ejemplos más avanzados evolucionaron originalmente a partir de proyectos gubernamentales. Cuando WannaCry infectó ordenadores susceptibles, lo hizo aprovechándose de un resquicio llamado «día cero», una vulnerabilidad en el *software* que no se conoce públicamente. Ese resquicio que estaba detrás de WannaCry había sido supuestamente establecido por la Agencia de Seguridad Nacional de los Estados Unidos como una forma de reunir información antes de que, de alguna manera, acabase en otras manos. [495] Las empresas tecnológicas pueden llegar a pagar mucho para cerrar esos resquicios. En 2019, Apple ofreció una recompensa de hasta dos millones de dólares a aquel que pudiese piratear el sistema operativo del nuevo iPhone. [496]

Durante un brote de *malware* , los resquicios de día cero pueden multiplicar la transmisión incrementando la susceptibilidad de las máquinas a las que atacan. En 2010, se descubrió que el gusano Stuxnet había infectado la instalación nuclear iraní de Natanz. Según informes posteriores, el gusano se las arregló para dañar las indispensables centrifugadoras. Para propagarse con éxito a través de los sistemas iraníes, el gusano había explorado los resquicios de día cero, que en ese momento eran prácticamente algo desconocido. Dada la sofisticación del ataque, muchos medios de comunicación apuntaron a los Estados Unidos y al Ejército israelí como potenciales creadores del gusano. Aun así, la infección inicial podría haber sido el resultado de algo mucho más sencillo: se ha sugerido

que el gusano entró en el sistema a través de un doble agente con un dispositivo USB infectado. [497]

Las redes informáticas son tan fuertes como lo son sus eslabones más débiles. Unos pocos años antes del ataque de Stuxnet, los piratas informáticos consiguieron acceder a un sumamente protegido sistema del Gobierno de los Estados Unidos en Afganistán. Según el periodista Fred Kaplan, agentes de la inteligencia rusa habían suministrado dispositivos USB infectados a varios quioscos cercanos a la sede de la OTAN en Kabul. Al final, un soldado estadounidense compró uno y lo usó en un ordenador seguro. [498] No son solo los humanos los que suponen un riesgo de seguridad. En 2017, un casino de los Estados Unidos se sorprendió al descubrir que sus datos estaban en manos de un pirata informático finlandés. Pero la verdadera sorpresa fue la fuente de la filtración. En lugar de atacar al bien protegido servidor principal, el ataque se produjo a través del acuario del casino, que estaba conectado a internet. [499]

Históricamente, los piratas informáticos han estado más interesados en acceder a los sistemas informáticos o en desbaratarlos. Pero a medida que la tecnología empezó a estar más conectada a través de internet, ha crecido el interés por usar los sistemas informáticos para controlar otros dispositivos. Esto puede incluir tecnologías muy personales. Mientras el acuario de ese casino en Nevada era atacado, Alex Lomas y sus colegas de la empresa británica de seguridad Pen Test Partners se preguntaban si sería posible piratear los juguetes sexuales con conexión Bluetooth. No les llevó mucho tiempo descubrir que algunos de esos aparatos eran muy vulnerables a un ataque. Con solo unas pocas líneas de código, podían en teoría atacar a uno de esos juguetes y hacer que vibrase a su máxima potencia. Y debido a que los dispositivos solo permitían una conexión al mismo tiempo, no habría manera de apagarlo. [500]

Por supuesto, los dispositivos con Bluetooth tienen un alcance limitado, así que ¿pueden los piratas informáticos hacer realmente algo así? Según Lomas, sí pueden. Una vez, paseando por una calle de Berlín, se puso a buscar dispositivos Bluetooth cercanos. Mirando la lista en su teléfono, se sorprendió al ver un identificador familiar: era uno de los juguetes sexuales que su equipo había mostrado que podían ser objeto de ataque. Aparentemente, alguien lo llevaba consigo, sin ser consciente de que un pirata informático podría encenderlo fácilmente.

No son solo los juguetes con Bluetooth los que son susceptibles. El equipo de Lomas encontró también otros dispositivos vulnerables, como un nuevo juguete sexual con una cámara que podía conectarse por wifi. Si no se cambiaba la contraseña de fábrica, resultaba muy fácil piratear el juguete y acceder al vídeo. Lomas señaló que su equipo de investigadores nunca intentó conectar un dispositivo fuera del laboratorio. Tampoco condujeron esta investigación para avergonzar a aquellas personas que usasen estos juguetes. Todo lo contrario: al plantear el problema, lo que querían era asegurarse de que la gente pudiese hacer lo que quisiera sin temor a sufrir un pirateo informático, y querían presionar a la industria para mejorar sus estándares.

Hay más cosas en riesgo aparte de los juguetes sexuales. Lomas descubrió que el truco del Bluetooth también funcionaba con los audífonos de su padre. Y también para cosas mucho mayores: científicos informáticos de la Universidad de Brown descubrieron que era posible acceder a robots de investigación, a través de un resquicio en un sistema operativo popular de robótica. A comienzos de 2018, el equipo de investigadores se las arregló para controlar una máquina de la Universidad de Washington (con el permiso de su propietario). También descubrieron otras amenazas algo más cerca de casa. Dos de sus propios robots —uno industrial y un dron— podían ser controlados por gente de fuera. Tal como señalaron los investigadores, «ninguno de los dos estaba disponible intencionadamente en el internet abierto al público, y ambos podían potencialmente causar daños físicos si se empleaban de manera inapropiada». Aunque su investigación se centró en robots empleados en la universidad, cualquier otra máquina podría sufrir los mismos problemas. «A medida que los robots salen del laboratorio y entran en las industrias y en los hogares, el número de unidades que pueden ser alteradas se multiplicará». [501]

El internet de las cosas crea nuevas conexiones en distintos aspectos de nuestras vidas. Pero en muchos casos, podríamos no ser conscientes de a dónde llevan exactamente esas conexiones. Esta red oculta emergió de repente a la hora del almuerzo un 28 de febrero de 2017, cuando varias personas cuyos hogares estaban conectados a internet descubrieron que no podían apagar la luz. O apagar el horno. O entrar en su garaje.

El origen del problema estaba en los Servicios Web de Amazon (AWS, por sus siglas en inglés), la filial de la empresa para la computación en la nube. Cuando una persona presiona el interruptor para encender una

bombilla inteligente, normalmente envía una notificación a un servidor basado en la nube —como AWS— que está localizado potencialmente a miles de kilómetros de distancia. El servidor envía entonces una señal a la bombilla para que se encienda. Ese día de febrero a la hora del almuerzo, no obstante, algunos de los servidores AWS se habían caído brevemente. Con el servidor caído, un gran número de los dispositivos domésticos habían dejado de responder. [502]

AWS había sido normalmente muy seguro —la empresa promete mantener sus servidores en perfecto funcionamiento el 99,99 por ciento del tiempo— y, de hecho, su reputación había fomentado la popularidad de esos servicios de computación en la nube. Se había hecho tan popular que casi las tres cuartas partes de los beneficios más recientes de Amazon provenían de AWS. [503] No obstante, el amplio uso de la computación en la nube, combinado con el impacto potencial de un fallo del servidor, llevó a muchos a pensar que AWS podría ser «demasiado grande para caer». [504] Si una gran parte de la red se basa en una única compañía, un pequeño problema en la fuente podría ser enormemente amplificado. En 2018 surgió un problema similar, cuando Facebook anunció que millones de sus usuarios habían sido afectados por un fallo de seguridad. Debido a que muchas personas utilizaban sus cuentas de Facebook para entrar en otras páginas web, esos ataques podían propagarse aún más de lo que los usuarios pensaban. [505]

No es esta la primera vez que nos hemos encontrado con esta combinación de enlaces ocultos y centros de distribución muy conectados. Son los mismos fallos de red que hicieron vulnerable al sistema financiero con anterioridad a 2008, permitiendo que eventos aparentemente locales tuvieran un impacto internacional. En las redes *online* , no obstante, los efectos pueden ser aún más extremos, lo que puede llevar a algunos brotes bastante inusuales.

Poco después del virus del milenio llegó el virus del amor. A comienzos de mayo de 2000, muchas personas en todo el mundo recibieron correos electrónicos con el asunto «TEQUIERO». El mensaje llevaba incorporado un gusano informático, que estaba escondido en un documento de texto que contenía una carta de amor. Cuando se abría, el gusano corrompía los archivos del ordenador de esa persona y se mandaba por correo electrónico a todos sus contactos. Se propagó ampliamente y trituró el sistema de

correo electrónico de varias organizaciones, por ejemplo, el Parlamento británico. Finalmente, los departamentos de informática desplegaron contramedidas, que protegieron a los ordenadores contra el gusano. Pero entonces sucedió algo muy extraño. En lugar de desaparecer, el gusano sobrevivió. Incluso un año después, todavía era uno de los tipos de *malware* más activos en internet. [506]

El científico informático Steve White se dio cuenta de que pasaba lo mismo con otros virus y gusanos informáticos. En 1998, había señalado que esos virus podían permanecer *online* por un tiempo. «Y he aquí el misterio —escribió White—. Nuestra evidencia sobre los virus indica que en un determinado momento en el tiempo pocos de los sistemas a nivel mundial están infectados». [507] Aunque los virus persisten durante mucho tiempo a pesar de las medidas de control, lo que sugiere que son muy contagiosos, generalmente infectan a pocos ordenadores, lo que implica que no son muy eficaces propagándose.

¿Qué es lo que causa esta aparente paradoja? Un par de meses después del ataque del virus del amor, Alessandro Vespignani y su colega el físico Romualdo Pastor-Satorras leyeron el artículo de White. Los virus informáticos no parecían comportarse como las epidemias biológicas, por lo que ambos investigadores se preguntaron si la estructura de la red podría tener algo que ver con ello. El año anterior, un estudio había mostrado que la popularidad variaba enormemente en la World Wide Web: la mayoría de los sitios web tenían muy pocos enlaces, mientras que otros tenían un número enorme de ellos. [508]

Ya hemos visto que en el caso de las ETS el número de reproducción de una infección será mayor cuanto más varíe el número de parejas sexuales que tiene cada individuo. Una infección que podría evaporarse si todo el mundo se comporta de manera idéntica puede persistir si algunas personas tienen muchas más parejas que otras. Vespignani y Pastor-Satorras se dieron cuenta de que pueden darse situaciones incluso más extremas en el caso de las redes informáticas. [509] Debido a que existe una enorme variabilidad en el número de enlaces entre diferentes servidores, incluso infecciones aparentemente débiles pueden sobrevivir. La razón es que, en este tipo de red, un ordenador nunca está a más de unos pocos pasos de un núcleo altamente conectado, que puede propagar la infección ampliamente creando un evento de superpropagación. Los bancos se enfrentaron a una forma

exagerada de este mismo problema en 2008, cuando unos pocos núcleos importantes impulsaron todo el brote.

Cuando los brotes son impulsados por eventos de superpropagación, el proceso de transmisión pasa a ser extremadamente frágil. A menos que una infección alcance un núcleo importante, probablemente no llegará muy lejos. No obstante, la superpropagación también puede hacer que un brote sea más impredecible. Aunque la mayor parte de los brotes no llegan a despegar, los que lo hacen pueden sobrevivir precariamente un lapso de tiempo sorprendentemente grande. Esto explica por qué un puñado de gusanos y virus informáticos han seguido propagándose, a pesar de no ser muy contagiosos a nivel individual. Lo mismo se puede decir de muchas tendencias en las redes sociales. Si usted ha visto propagarse un meme extraño y se pregunta cómo es que ha persistido durante tanto tiempo, probablemente tenga más que ver con la propia red que con la calidad del contenido. [510] Gracias a su estructura, las redes *online* confieren a las infecciones una ventaja de la que carecen en otras áreas de la vida.

El 22 de marzo de 2017, programadores de redes de todo el mundo notaron que sus aplicaciones no funcionaban bien. Desde Facebook a Spotify, las empresas que utilizaban el lenguaje de programación JavaScript eran incapaces de operar partes de su *software* . Las interfaces se habían estropeado, los gráficos no se cargaban, las actualizaciones no se instalaban.

¿Cuál era el problema? Once líneas de código informático —cuya existencia era desconocida para muchas personas— habían desaparecido. El código en cuestión había sido escrito por Azer Koçulu, un programador afincado en Oakland (California). Esas once líneas formaban un programa de JavaScript denominado leftPad. El programa mismo no era particularmente complicado; únicamente añadía caracteres adicionales al comienzo de un segmento de texto. Era el tipo de cosas que la mayoría de los codificadores podrían haber creado desde cero en pocos minutos. [511]

Y, no obstante, la mayoría de los codificadores no crean las cosas desde cero. Para ahorrar tiempo, usan herramientas que otros ya han desarrollado y compartido. Muchos de ellos lo hacen con un recurso *online* denominado «npm», que reúne códigos útiles como leftPad. En algunos casos, incorporan las herramientas existentes en nuevos programas, y posteriormente las comparten. Algunos de estos programas alimentan posteriormente a otros programas, creando una cadena de dependencia en el

que cada programa apoya al siguiente. Cada vez que alguien instala o actualiza un programa, también tiene que cargar todo en la cadena de dependencia; de lo contrario recibirá un mensaje de error. LeftPad está profundamente integrado en una de esas cadenas. En el mes anterior a su desaparición, el código había sido descargado unos dos millones de veces.

Ese día de marzo Koçulu había retirado su código de npm después de una discusión sobre una marca registrada. Npm le había pedido que le cambiase el nombre a uno de sus paquetes de *software* después de que otra compañía se hubiese quejado; Koçulu protestó y al final respondió retirando su código. Esto incluía leftPad, lo que significaba que cualquier cadena de programas que se basase en la herramienta de Koçulu se rompería repentinamente. Y debido a que algunas de las cadenas eran muy largas, muchos programadores no eran conscientes de hasta qué punto dependían de esas once líneas de código.

El trabajo de Koçulu es solo un ejemplo de un código informático que se ha propagado mucho más lejos de lo que cabría suponer. Poco después del incidente de leftPad, el programador de *software* David Haney observó que otra herramienta de npm —consistente en una única línea de código— se había convertido en una parte esencial de otros setenta y dos programas. Enumeró además otros casos de *software* que eran muy dependientes de simples fragmentos de un código. «No dejo de sorprenderme por el hecho de que los programadores estén aceptando depender de funciones de una sola línea que deberían ser capaces de escribir con los ojos cerrados», escribió. [512] Unos códigos prestados se pueden propagar a menudo más deprisa de lo que la gente cree. Unos investigadores de la Universidad de Cornell que analizaron artículos escritos con LaTeX, un popular *software* de escritura científica, descubrieron que los académicos a menudo reutilizaban los códigos de otros académicos. Algunos archivos se habían propagado a través de redes de colaboradores durante más de veinte años. [513]

A medida que un código se propaga, también puede cambiar. Después de que los tres estudiantes subiesen *online* el código Mirai a finales de septiembre de 2016, surgieron docenas de variaciones, cada una de ellas con características sutilmente distintas. Era solo cuestión de tiempo que alguien alterase el código para atacar a gran escala. A comienzos de octubre, unas pocas semanas antes del incidente de Dyn, la compañía de seguridad RSA descubrió una oferta de lo más sorprendente en un mercado de la red oscura: un grupo de piratas informáticos ofrecía una forma de

inundar un objetivo con 125 gigabytes de actividad por segundo. Por 7.500 dólares, se podía comprar el acceso a una red de cien mil *bots* , aparentemente basada en algún código Mirai adaptado. [514] No obstante, no era la primera vez que el código Mirai había cambiado. En las semanas previas a la publicación del código, los creadores de Mirai realizaron alrededor de unas veinte alteraciones, aparentemente para incrementar la capacidad de contagio de su red de *bots* . Las variaciones incluían características que hacían que el gusano fuese más difícil de detectar, así como cambios para combatir otras formas de *malware* que competían por los mismos dispositivos susceptibles. Una vez en campo abierto, Mirai continuaría cambiando durante años; en 2019 aún estaban apareciendo nuevas variantes. [515]

Fred Cohen escribió por vez primera sobre virus informáticos en 1984, y señaló que el *malware* evolucionaría con el tiempo, con lo que sería cada vez más difícil de detectar. En lugar de alcanzar un equilibrio, el ecosistema de los virus informáticos y los antivirus continuaría transformándose. En su opinión, «a medida que tiene lugar esa evolución, los equilibrios tienen que cambiar, y el resultado final no estará muy claro salvo en la más simple de las circunstancias. Todo esto presenta estrechas analogías con las teorías biológicas de la evolución, y podría compararse también con las teorías genéticas de las enfermedades». [516]

Una forma común de protegerse contra el *malware* es que un antivirus haga búsquedas de amenazas conocidas. Normalmente, esto implica buscar segmentos familiares de código; una vez que se reconoce una amenaza, puede ser neutralizada. [517] Los sistemas inmunitarios humanos pueden hacer algo muy similar cuando nos contagiamos o nos vacunamos. Las células inmunes a menudo se aprenden la forma del patógeno específico al que hemos estado expuestos; si nos contagiamos de nuevo, pueden responder rápidamente y neutralizar la amenaza. No obstante, la evolución a menudo puede socavar este proceso. Patógenos con los que ya estamos familiarizados pueden cambiar su aspecto para evitar ser detectados.

Uno de los ejemplos más prominentes —y frustrantes— de este proceso es la evolución de la gripe. El biólogo Peter Medawar denominó al virus de la gripe «un trozo de ácido nucleico rodeado de malas noticias». [518] Hay dos tipos particulares de malas noticias en la superficie del virus de la gripe: un par de proteínas conocidas como hemaglutinina (HA) y neuraminidasa (NA). La HA permite al virus aferrarse a las células huéspedes; la NA

ayuda a liberar nuevas partículas del virus a partir de las células infectadas. Las proteínas pueden tomar varias formas distintas, y los diferentes tipos de gripe —H1N1, H3N2, H5N1 y así sucesivamente— toman sus nombres a partir de ellas.

Las epidemias de gripe invernales son causadas principalmente por el H1N1 y el H3N2. Estos virus evolucionan gradualmente mientras están circulando, lo que provoca un cambio en la forma de las proteínas HA y NA. Esto significa que nuestro sistema inmune deja de reconocer al virus mutado como una amenaza. Tenemos epidemias de gripe anuales —y también campañas anuales de vacunación contra la gripe— porque nuestros cuerpos juegan a un juego evolutivo del gato y el ratón con la infección.

La evolución puede también ayudar a que persistan las infecciones artificiales. En años recientes, el *malware* ha empezado a modificarse a sí mismo automáticamente para hacer más difícil su identificación. En 2014, por ejemplo, la red de *bots* Beebone infectó a miles de ordenadores en todo el mundo. El gusano que estaba tras los *bots* cambiaba su apariencia varias veces al día, lo que generaba millones de variantes a medida que se propagaba. Incluso aunque un antivirus descubriese la versión actual del código, el gusano pronto se habría transformado, distorsionando cualquier pauta conocida. Beebone fue finalmente detenido en 2015, una vez que la policía se centró en la parte del sistema que no evolucionaba: los nombres fijos del dominio usados para coordinar la red de *bots* . Esto demostró ser más efectivo que intentar identificar a los gusanos en continua transformación. [519] Los biólogos también esperan poder desarrollar vacunas contra la gripe más efectivas a partir de las partes del virus que no cambian. [520]

Dada su necesidad de evitar ser detectado, el *malware* continuará su evolución mientras las autoridades intentan no quedarse atrás. Las rutas de transmisión tampoco dejan de cambiar. Además de encontrar nuevos objetivos —como los dispositivos domésticos—, las infecciones se están expandiendo crecientemente a través de ataques basados en ciberanzuelos y en ataques hechos a medida del destinatario en las redes sociales. [521] Al enviar mensajes destinados a usuarios específicos, los piratas informáticos pueden aumentar la probabilidad de que estos usuarios tecleen en uno de esos enlaces e involuntariamente dejen entrar al *malware* . No obstante, la evolución no solo ayuda a que las infecciones se propaguen de ordenador a

ordenador o de persona a persona. También revela nuevas vías para combatir el contagio.

---

[477] Información sobre Mirai: Antonakakis, M. *et al.* , «Understanding the Mirai botnet», *Proceedings of the 26th USENIX Security Symposium* , 2017; Solomon, B. y T. Fox-Brewster, «Hacked cameras were behind Friday's massive web outrage», *Forbes* , 21 de octubre de 2016; Bours, B., «How a dorm room Minecraft scam brought down the internet», *Wired* , 13 de diciembre de 2017.

[478] Citado en Bours, «How a dorm room Minecraft scam brought down the internet».

[479] Información sobre WannaCry: «What you need to know about the WannaCry ransomware», Blogs Symantec, 23 de octubre de 2017, https://symantec-blogs.broadcom.com/blogs/threat-intelligence/wannacry-ransomware-attack; Field, M., «WannaCry cyber attack cost the NHS £92 as 19,000 appointments cancelled», *The Telegraph* , 11 de octubre de 2018; Wiederman, R., «The British hacker Marcus Hutchins and the FBI», *The Times* (Londres), 7 de abril de 2018.

[480] Moore, D. *et al.* , «The spread of the Sapphire/Slammer worm», artículo, Center for Applied Internet Data Analysis (CAIDA), 2003, www.ismlab.usf.edu/dcom/Ch13_Slammer%20Worm.pdf.

[481] Información sobre Elk Cloner: Leyden, J., «The 30-year old prank that became the first computer virus», *The Register* , 14 de diciembre de 2012.

[482] Citas de una entrevista del autor con Alex Vespignani, mayo de 2018.

[483] Cohen, F., «Computer viruses: theory and experiments», artículo, 1984.

[484] Información sobre el gusano Morris: Seltzer, L., «The Morris Worm: internet malware turns 25», *Zero Day* , 2 de noviembre de 2013, www.zdnet.com/article/the-morris-worm-internet-malware-turns-25/; «United States of America, Appellee, v. Robert Tappan Morris, Defendant-Appellant», 928 F.2D 504, 1990.

[485] Graham, P., «The submarine», abril de 2005, www.paulgraham.com.

[486] Moon, M., «Minecraft success helps its creator buy a $70 million mansion», Engadget, 18 de diciembre de 2014, www.engadget.com/2014/12/18/minecraft-success-helps-its-creator-buy-a-70-million-mansion/.

[487] Información sobre DDoS: «Who is Anna-Senpai, the Mirai worm author?», Krebs on Security, 18 de enero de 2017, https://krebsonsecutiry.com/2017/01/who-is-anna-senpai-the-mirai-worm-author/; «Spreading the DDoS disease and selling the cure», Krebs on Security, 19 de octubre de 2016, https://krebsonsecurity/2016/10/spreading-the-ddos-disease-and-selling-the-cure/.

[488] «Computer hacker who launched attacks on Rutgers University ordered to pay $8.6m», nota de prensa, Oficina del Fiscal de los Estados Unidos, Distrito de Nueva Jersey, 26 de octubre de 2018, www.justice.gov/usao-nj/pr/computer-hacker-who-launched-attacks-rutgers-university-ordered-pay-86m-restitution.

[489] @MalwareTechBlog, tuit, 13 de mayo de 2017.

[490] Staniford, S. *et al.* , «How to own the internet in your spare time», *Proceedings of the 11th USENIX Security Symposium* , 2002.

[491] Asumiendo una R = 20 y que sea contagioso durante ocho días, equivale a 0,1 infecciones por hora.

[492] Moore *et al.* , «The spread of the Sapphire/Slammer worm».

[493] «Kaspersky Lab research reveals the cost and profitability of arranging a DDoS attack», Kaspersky Lab, 23 de marzo de 2017, www.channelpronetwork.com/kaspersky-lab-research-reveals-cost-and-profitability-arranging-ddos-attack.

[494] Palmer, D., «Ransomware is now big business on the dark web and malware developers are cashing in», *ZDNet* , 11 de octubre de 2017, www.zdnet.com/article/ransomware-is-now-big-business-on-the-dar-web-and-malware-developers-are- cashing-in/.

[495] Nakashima, E. y C. Timberg, «NSA officials worried about the day its potent hacking tool would get loose. Then it did», *Washington Post* , 16 de mayo de 2017.

[496] Orr, A., «Zerodium offers $2 million for remote iOS exploits», Mac Observer, 10 de enero de 2019, www.macobserver.com/news/zerodium-2-million-ios-exploits/.

[497] Información sobre Stuxnet: Kushner, D., «The real story of Stuxnet», *IEEE Spectrum* , 26 de febrero de 2013; Kopfstein, J., «Stuxnet virus was planted by Israeli agents using USB sticks, according to new report», *The Verge* , 12 de abril de 2012, www.theverge.com/2012/4/12/2944329/stuxnet-computer-virus-planted-israeli-iran.

[498] Kaplan, F., *Dark Territory: The Secret History of Cyber War* , Nueva York: Simon and Schuster, 2016.

[499] Dark Trace, «Global Threat Report 2017», www.darktrace.com.

[500] Información y citas: Lomas, A., «Screwdriving: locating and exploiting smart adult toys», *Pen Test Partners Blog* , 29 de septiembre de 2017, www.pentestpartners.com/security-blog/screwdriving-locating-and-exploiting-smart-adult-toys/; Francheschi-Bicchierai, L., «Hackers can easily hijack this dildo camera and livestream the inside of your vagina (or butt)», *Motherboard* , 3 de abril de 2017, www.vice.com/en_us/article/53847a/camera-dildo-svkom.siime-eye-hacked-livestream.

[501] DeMarinis, N. *et al.* , «Scanning the internet for ROS: a view of security in robotics research», arXiv, 2018, https://arxiv.org/abs/1808.03322.

[502] Información sobre el apagón de AWS: Hindi, R., «Thanks for breaking our connected homes, Amazon», *Medium* , 28 de febrero de 2017, https://medium.com/snips-ai/thanks-for-breaking-our-connected-homes-amazon-c820a8849021; Hern, A., «How did an Amazon glitch leave people literally in the dark?», *The Guardian* , 1 de marzo de 2017.

[503] Información sobre el desempeño de AWS: Amazon Computer Service Level Agreement, https://aws.amazon.com/es/, 12 de febrero de 2018; Poletti, T., «The engine for Amazon earnings growth has nothing to do with e-commerce», *Market Watch* , 29 de abril de 2018.

[504] Swift, P., «Mega outage' wreaks havoc on internet, is AWS too big to fail?», *Digit* , 1 de marzo de 2017, https://digit.fyi/aws-mega-outage-wreaks-havoc-internet-big-fail/; Bobeldijk, Y., «Is Amazon cloud service too big to fail?», *Financial News* , 1 de agosto de 2017.

[505] Berrett, B. y L. H. Newman, «The Facebook security meltdown exposes way more sites than Facebook», *Wired* , 28 de septiembre de 2018.

[506] Información sobre el virus del amor: Meek, J., «Love bug virus creates worldwide chaos», *The Guardian* , 5 de mayo de 2000; Barabási, A. L., *Linked: the New Science of Networks* , Nueva York: Perseus Books, 2003.

[507] White, S. R., «Open problems in computer virus research», presentado en la Conferencia del Boletín sobre los Virus, 1998.

[508] Barabási, A. L. y R. Albert, «Emergence of scaling in random networks», *Science* , 1999.

[509] Pastor-Satorras, R. y A. Vespignani, «Epidemic spreading in scale-free networks», *Physical Review Letters* , 2 de abril de 2011.

[510] Goel, S. *et al.* , «The structural virality of online diffusion», *Management Science* , 2016.

[511] Información sobre leftPad: Williams, C., «How one developer just broke Node, Babel and thousands of projects in 11 lines of JavaScript», *The Register* , 23 de marzo de 2016, www.theregister.co.uk/2016/03/23/npm_left_pad_chaos/; Tung, L., «Disgruntled developer breaks thousands of JavaScript, Node.js apps», *ZDNet* , 23 de marzo, 2016, www.zdnet.com/article/disgruntled-developer-breaks-thousands-of-javascript-node-js-apps/; Roberts, M., «A discussion about the breaking of the internet», *Medium* , 23 de marzo de 2016, https://medium.com/@mproberts/a-discussion-about-the-braking-of-the-internet-3d4d2a83aa4d.

[512] Haney, D., «NPM and left-pad: have we forgotten how to program?», 23 de marzo de 2016, www.davidhaney.io/npm-left-pad-have-we-forgotten-how-to-program/.

[513] Rotabi, R. *et al.* , «Tracing the use of practices through networks of collaboration», *Proceedings of the 11th International AAAI Conference on Web and Social Media* , 2017.

[514] Fox-Brewster, T., «Hackers sell $7,500 IoT Cannon to bring down the web again», *Forbes* , 23 de octubre de 2016.

[515] Gallagher, S., «New variants of Mirai botnet detected, targeting more Iot devices», *Ars Technica* , 9 de abril de 2019, https://arstechnica.com/information-technology/2019/04/new-variants-of-mirai-botnet-detected-targeting-more-iot-devices/.

[516] Cohen, «Computer viruses: theory and experiments».

[517] Cloonan, J., «Advanced malware detection: signatures vs. behavior analysis», *Infosecurity Magazine* , 11 de abril de 2017.

[518] Citado en Oldstone, M. B. A., *Virus, pestes e historia* , Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2002.

[519] Información sobre Beebone: Goodin, D., «US, European police take down highly elusive botnet known as Beebone», *Ars Technica* , 9 de abril de 2015, htpps://arstechnica.com/information-technology/2015/04/us-european-police-take-down-highly-elusive-botnet-known-as-beebone/?comments=1&post=28838385; Samani, R., «Update on the Beebone botnet takedown», *McAfee Blogs* , 20 de abril de 2015, www.mcafee.com/blogs/other-blogs/mcafee-labs/beebone-update/.

[520] Thompson, C. P. *et al.* , «A naturally protective epitope of limited variability as an influenza vaccine target», *Nature Communications* , 2018.

[521] *MacAfee Labs 2019 Threats Predictions Report* , McAfee Labs, 29 de noviembre de 2018, www.mcafee.com/blogs/other-blogs/mcafee-labs/mcafee-labs-2019-threats-predictions/; Seymour, J. y P. Tully, «Weaponizing data science for social engineering: automated E2E spear phishing on Twitter», documento de trabajo, 2016.

07

Rastreando los brotes

El *affaire* terminaría en un intento de asesinato. Durante diez años, Richard Schmidt, un gastroenterólogo de Lafayette (Luisiana), había tenido una relación con Janice Trahan, una enfermera quince años más joven. Se había divorciado de su marido tras el comienzo del *affaire* , pero, a pesar de sus promesas, Schmidt no había dejado a su mujer y tres hijos. Trahan había intentado romper la relación en otras ocasiones, pero esta vez sería la definitiva.

Más tarde declararía que un par de semanas después, el 4 de agosto de 1994, Schmidt había acudido a su casa mientras estaba dormida. Schmidt le dijo que estaba ahí para suministrarle una inyección de vitamina B-12. Ya le había inyectado la vitamina en ocasiones anteriores, como complemento energético, pero esa noche ella le dijo que no quería. Antes de que pudiera detenerlo, le había clavado una aguja en el brazo. Ninguna de las inyecciones anteriores había sido dolorosa, pero esta vez el dolor se extendió a lo largo de su brazo, y en ese momento, Schmidt le dijo que se tenía que ir al hospital.

El dolor continuó toda la noche, y en las semanas siguientes Trahan enfermó con síntomas parecidos a los de la gripe. Fue varias veces al hospital, pero prueba tras prueba daba resultados negativos. Un doctor sospechaba que podría ser VIH, pero no lo comprobó. Más tarde dijo que su colega —un tal doctor Schmidt— le comentó que Trahan ya había dado negativo para esa infección. Su enfermedad continuó, y finalmente otro médico ordenó que se le realizasen nuevas pruebas. En enero de 1995, Trahan finalmente recibió el diagnóstico correcto: había dado positivo para VIH.

En agosto del año anterior, Trahan le había dicho a una colega que sospechaba que «la inyección en la oscuridad» no era de vitamina B-12. No

cabía duda de que el VIH era una infección reciente: había donado sangre varias veces, y su donación más reciente —realizada en abril de 1994— había dado negativa para VIH. Según un especialista local en VIH, la progresión de sus síntomas era consistente con una infección producida a comienzos de agosto. Cuando la policía registró la oficina de Schmidt, encontró pruebas de que se había extraído sangre de un paciente de VIH el 4 de agosto —justo horas antes de que hubiese supuestamente inyectado a Trahan— y el procedimiento no había sido registrado de la manera habitual. No obstante, Schmidt negó haber visitado a Trahan y haberle suministrado esa inyección. [522]

Quizá el propio virus podía proporcionar una clave acerca de qué es lo que había pasado. En esa época, ya era común usar pruebas de ADN para vincular a los sospechosos con la escena del crimen. No obstante, la cosa era más complicada en este caso. Virus como el VIH evolucionan relativamente rápido, de manera que el virus encontrado en la sangre de Trahan no sería necesariamente el mismo que el de la sangre que la infectó. Enfrentado a una acusación de intento de asesinato en segundo grado, Schmidt argumentó que el VIH que había infectado a Trahan era demasiado distinto del virus del paciente original; no era plausible que esa fuese la fuente de su infección. Dado el resto de pruebas que apuntaban a Schmidt, el fiscal no estuvo de acuerdo. Lo único que necesitaban era una forma de demostrarlo.

El 20 de junio de 1837, la Corona británica pasaba de un miembro a otro del árbol familiar de la monarquía, de Guillermo IV a Victoria. Mientras tanto, a poca distancia de allí, en el Soho, un joven biólogo también estaba pensando en árboles familiares, aunque a una escala mucho mayor. De vuelta en Inglaterra después de su viaje de cinco años en el HMS *Beagle* , Charles Darwin terminaría desarrollando sus teorías en una nueva libreta encuadernada en cuero. Para ayudar a aclararse las ideas, dibujó un diagrama simplificado de un «árbol de la vida». La idea era que las ramas indicaban las relaciones evolutivas entre distintas especies. Al igual que en el caso de un árbol familiar, Darwin sugería que los organismos fuertemente relacionados se situarían cerca unos de otros en el árbol, mientras que especies distintas estarían mucho más alejadas unas de otras. Siguiendo cada una de las ramas se alcanzaría una raíz común: un único ancestro común.

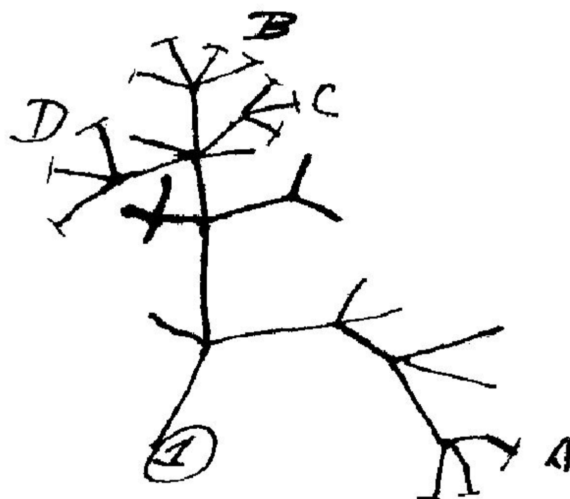


Figura 26. El dibujo original de Darwin del árbol de la vida. La especie A es un familiar lejano de B, C y D, que están más estrechamente relacionadas. En el diagrama, todas las especies evolucionan a partir de un punto de partida único, etiquetado como (1).

Darwin comenzó a dibujar árboles evolutivos basándose en cosas como los rasgos físicos. En su viaje del *Beagle* , clasificó las especies de aves por características como la forma del pico, la longitud de la cola y el plumaje. [523] Este campo de investigación se conocería finalmente como «filogenética», por los términos en griego antiguo para *especie* («filo») y *origen* («génesis»).

Aunque el análisis evolutivo inicial se centraba en la aparición de distintas especies, el desarrollo de las secuencias genéticas ha posibilitado comparar organismos con mucho mayor detalle. Si observamos dos genomas, podemos ver lo estrechamente que están relacionados basándonos en cuánto se solapan las listas de letras que forman sus secuencias. Cuanto más solapamiento, menos mutaciones se requieren para pasar de una secuencia a otra. Es un poco como esperar a que aparezcan fichas específicas en una partida de Scrabble. Pasar de una secuencia «AACG» a una «AACC», por ejemplo, es más sencillo que pasar de «AACG» a «TTGG». Y al igual que con el Scrabble, podemos estimar la duración de un proceso evolutivo, basándonos en cuántas letras han cambiado desde la secuencia original.

Empleando esa idea —y con una gran potencia computacional— es posible ordenar secuencias en un único árbol filogenético, trazando su evolución histórica. También podemos estimar cuándo pueden haber aparecido importantes cambios evolutivos. Esto resulta útil si queremos

saber cómo puede haberse propagado una infección. Por ejemplo, después de que el SARS provocase un gran brote en 2003, los científicos identificaron el virus en las civetas de las palmeras, un animal parecido a la mangosta. Puede que la enfermedad hubiese estado circulando durante mucho tiempo entre las civetas antes de transmitirse a la población humana.

Los análisis de distintos virus del SARS sugieren que esto no es así. Los virus de civetas y los virus humanos estaban fuertemente relacionados, lo que indicaba que tanto los humanos como las civetas eran huéspedes relativamente recientes del virus. El SARS había saltado potencialmente de las civetas a los humanos unos pocos meses antes del comienzo del brote. Por el contrario, el virus había circulado entre los murciélagos durante mucho más tiempo, pasando a las civetas en algún momento en torno a 1998. Basándonos en la historia evolutiva de los distintos virus, las civetas eran probablemente solo un paso intermedio del SARS en su camino hacia los humanos. [524]

Durante el juicio de Richard Schmidt, el fiscal usó pruebas filogenéticas similares para mostrar que era plausible que la infección de Trahan proviniese del paciente con VIH que había visitado a Schmidt. El biólogo evolutivo David Hillis y sus colegas compararon los virus aislados de Trahan y del paciente de Schmidt con otros virus encontrados en pacientes de VIH en Lafayette. En su testimonio, Hillis dijo que los virus encontrados en el paciente de Schmidt y en Trahan eran «las secuencias más estrechamente relacionadas del análisis, y tan fuertemente relacionadas con secuencias aisladas como lo pueden ser dos individuos». Aunque el testimonio de Hillis no proporcionó una prueba concluyente de que la infección de Trahan proviniese del paciente de Schmidt, socavó el argumento de la defensa de que los casos no estaban relacionados. Finalmente, Schmidt fue declarado culpable y sentenciado a cincuenta años de cárcel. En cuanto a Trahan, se volvió a casar y continuó viviendo con el VIH, celebrando su vigésimo aniversario de boda en 2016. [525]

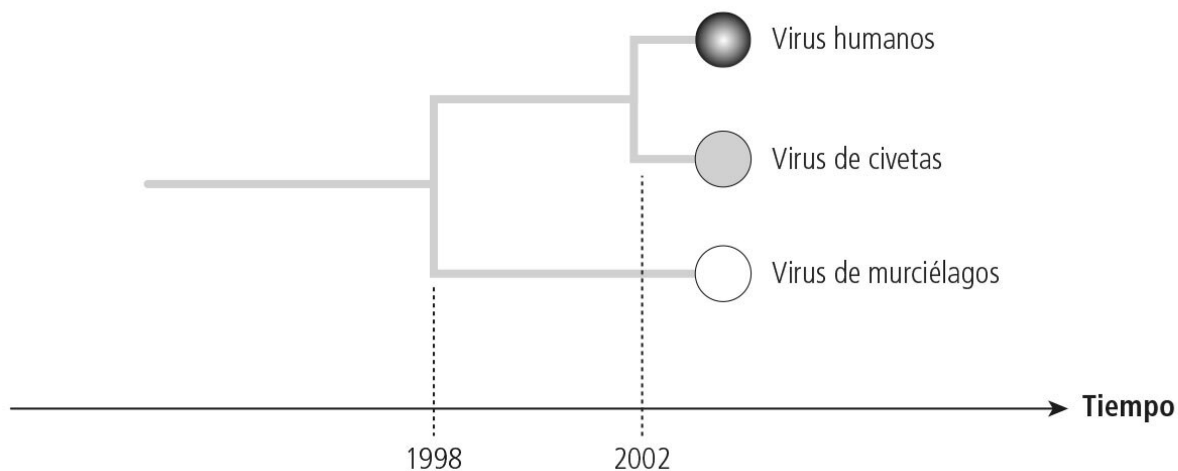


Figura 27. Árbol filogenético simplificado del virus del SARS en diferentes especies huéspedes. Las líneas discontinuas muestran el tiempo estimado en el que los virus divergen uno de otro, hasta encontrar un nuevo grupo de huéspedes. Datos: Hon, *C. et al.* , «Evidence of the recombinant origin of a bat severe acute respiratory syndrome (SARS)—like coronavirus and its implications on the direct ancestor of SARS coronavirus», *Journal of Virology* , 2008.

El juicio de Schmidt fue la primera vez que el análisis filogenético se empleaba en un caso penal en los Estados Unidos. Desde entonces, el método ha aparecido en otros casos en todo el mundo. Después de un aumento de casos de hepatitis C en Valencia (España), investigadores de la policía acabaron asociando a muchos de los pacientes con un anestesista, Juan Maeso. El análisis filogenético confirmó que era la fuente probable del brote, y en 2007 fue condenado por infectar a cientos de pacientes al reutilizar jeringuillas. [526] Los datos genéticos también han servido para probar la inocencia de acusados de crímenes. Poco después del caso de Maeso, un grupo de médicos fueron puestos en libertad en Libia. Habían estado encarcelados durante ocho años tras ser acusados de haber infectado deliberadamente a niños con el VIH. Fueron liberados en parte como consecuencia de un análisis filogenético, que mostró que muchas de las infecciones se habían producido años antes de que el equipo médico hubiese llegado al país. [527]

Además de ayudar a establecer la fuente probable de un brote, los métodos filogenéticos pueden revelar cuándo una enfermedad llegó a una localidad particular. Supóngase que estamos analizando un virus como el VIH, que evoluciona relativamente rápido. Si las cepas de VIH que circulan en un área son relativamente similares, será porque no han tenido mucho

tiempo para evolucionar, de manera que el brote es probablemente muy reciente. Por el contrario, si hay mucha diversidad entre los virus, lo que esto significa es que han evolucionado durante mucho tiempo, de manera que el virus original se introdujo hace tiempo. Estos métodos se usan ahora de manera rutinaria en la salud pública. Recuérdese cómo en capítulos anteriores nos referimos a la llegada del zika a Latinoamérica y del VIH a Norteamérica. En ambos casos, los investigadores emplearon datos genéticos para estimar la cronología de la introducción del virus. Los investigadores también han aplicado estas mismas ideas a otras infecciones, desde la pandemia de gripe hasta las «superbacterias» hospitalarias como el SARM. [528]

Con acceso a datos genéticos, también podemos determinar si un brote comenzó con uno o con múltiples casos. Cuando nuestro equipo analizó los virus del Zika aislados en Fiyi en 2015 y 2016, encontramos dos grupos distintos de virus en el árbol filogenético. Basándonos en la tasa de evolución, se pudo determinar que un grupo de virus había llegado a la capital, Suva, en 2013-2014, propagándose a bajo nivel en los siguientes uno o dos años, mientras que un brote separado había comenzado posteriormente en el oeste del país. [529] No era consciente de ello en ese momento, pero algunos de los mosquitos a los que apartaba durante mi visita en 2015 probablemente estaban infectados de zika.

Otro beneficio del análisis filogenético es que podemos rastrear las transmisiones en los estadios finales de un brote. En marzo de 2016, apareció en Guinea una nueva concentración de casos de ébola, tres meses después de que la OMS hubiese declarado terminada la epidemia en África Occidental. Quizá el virus se había estado propagando en humanos todo ese tiempo. El epidemiólogo Boubacar Diallo y sus colaboradores estudiaron la secuencia de virus procedentes de esta nueva concentración de casos, y encontraron una explicación alternativa. Los nuevos virus estaban fuertemente relacionados con un virus del Ébola encontrado en el semen de un habitante local que se había recuperado de la enfermedad en 2014. El virus había persistido en su cuerpo durante un año y medio antes de propagarse a una pareja sexual y provocar un nuevo brote. [530]

La secuencia de los datos se ha convertido en una parte importante del análisis de los brotes, pero la idea de que los virus evolucionan puede llevar en ocasiones a una cobertura de prensa alarmista. Durante las epidemias de ébola y zika, varias noticias explotaban el hecho de que los virus estaban

evolucionando. [531] Pero esto no es tan malo como podría parecer a primera vista: todos los virus evolucionan, en el sentido de que su secuencia genética cambia gradualmente a lo largo del tiempo. Ocasionalmente esta evolución llevará a una diferencia importante —como cuando el virus de la gripe cambia de apariencia—, pero a menudo solo ocurre en un segundo plano, sin un efecto significativo sobre un brote.

Y, no obstante, la tasa de evolución puede afectar a nuestra capacidad de analizar brotes. El análisis filogenético es más efectivo cuando nos centramos en patógenos que evolucionan muy rápidamente, como el VIH y la gripe. Esto se debe a que la secuencia genética cambia a medida que los patógenos se propagan de una persona a otra, haciendo posible estimar la ruta probable de infección. Por el contrario, virus como el del sarampión evolucionan lentamente, lo que significa que no habrá mucha variación de una persona a otra. [532] Como consecuencia de ello, determinar cómo se relacionan los casos es un poco como intentar reconstruir un árbol familiar humano en un país en el que todo el mundo tiene el mismo apellido.

Además de las limitaciones biológicas de los métodos filogenéticos, hay también limitaciones prácticas. En los estadios iniciales de la epidemia de ébola en África Occidental, Pardis Sabeti, un genetista del Broad Institute de Boston, analizó datos de secuencias de noventa y nueve virus procedentes de Sierra Leona. Los árboles filogenéticos mostraban que la infección se había propagado desde Guinea a Sierra Leona en mayo de 2014, posiblemente después de un funeral. Dada la seriedad del brote, Sabeti y sus colegas rápidamente añadieron una nueva secuencia genética a una base de datos pública. Esta investigación inicial fue seguida de un periodo de relativo silencio. Aunque otros equipos de investigadores habían estado recopi lando muestras de virus, nadie más publicó ninguna nueva secuencia genética entre el 2 de agosto y el 9 de noviembre de 2014. Durante el mismo periodo, se registraron alrededor de diez mil casos de ébola en África Occidental, y la epidemia alcanzó su pico en octubre. [533]

Hay un par de razones posibles para explicar el retraso en hacer públicas las secuencias. La explicación cínica es que los datos originales son moneda académica valiosa. Los artículos de investigación que usan secuencias genéticas para estudiar brotes tendrán más posibilidades de ser publicados en revistas de alto impacto, lo que crea un incentivo para que los investigadores acaparen datos potencialmente importantes. No obstante, basándome en mis interacciones con investigadores durante ese periodo, me

gustaría pensar que en su mayor parte se trataba más de un descuido que de mala fe. La cultura científica simplemente no estaba adaptada a la escala de tiempo en la que se mueven los brotes. Los investigadores están acostumbrados a desarrollar protocolos, llevar a cabo análisis rigurosos, describir sus métodos y someter los resultados a evaluación por parte de otros colegas científicos. Este proceso puede llevar meses —si no años— y ha contribuido a ralentizar la publicación de nuevos datos.

Esos retrasos son un problema tanto para la ciencia como para la medicina. Cuando Jeremy Farrar fue nombrado director del Wellcome Trust en marzo de 2014, le dijo a *The Guardian* que la investigación clínica muchas veces era muy lenta, algo que quedó bastante claro en los meses siguientes, a medida que crecía el brote de ébola. Tal como dijo Farrar, «los sistemas actuales no son adecuados para una situación que se está moviendo rápidamente. No tenemos nada que nos permita responder en tiempo real». [534]

Esta cultura está cambiando gradualmente. A mediados de 2018, comenzó en la República Democrática del Congo lo que sería otro gran brote de ébola. Esta vez, los investigadores publicaron rápidamente nuevos datos de secuencias. También iniciaron pruebas clínicas de cuatro tratamientos experimentales. Para agosto de 2019, habían demostrado que una inyección temprana de células inmunes al ébola podría incrementar las probabilidades de supervivencia a aproximadamente un 90 por ciento, frente a una media histórica de solo 30 por ciento. Mientras tanto, los científicos que investigan los brotes suben con más frecuencia artículos a sitios web como bioRxiv y medRxiv, cuyo objetivo es hacer accesible la nueva investigación antes de que sea evaluada en una revisión por pares. [535]

Durante su estancia en Sierra Leona, Sabeti descubrió que el término *kenema* , que era también el nombre de la ciudad en la que estaban ubicados, significaba «claro como un río, traslúcido y abierto a la mira pública». [536] Esta apertura se reflejó en el trabajo de su equipo, que fue el que compartió esas noventa y nueve secuencias a comienzos del brote. La misma actitud arraigó entre la comunidad de investigadores de los brotes. Uno de los mejores ejemplos de ello es el proyecto Nextstrain, liderado por los biólogos computacionales Trevor Bedford y Richard Neher. Esta plataforma *online* coteja automáticamente secuencias genéticas para mostrar la relación entre diferentes virus y cuál puede ser su procedencia. Aunque Bedford y Neher se centraron inicialmente en la gripe, la

plataforma se ocupa ahora de cualquier enfermedad, desde el zika hasta la tuberculosis. [537] Nextstrain ha demostrado ser una idea muy poderosa, no solo porque junta y visualiza todas las secuencias disponibles, sino porque se desarrolla en paralelo al proceso lento y competitivo de publicación de artículos científicos.

A medida que el establecimiento de las secuencias de los patógenos sea cada vez más sencillo, los métodos filogenéticos continuarán mejorando nuestra comprensión de los brotes de enfermedades. Nos ayudarán a descubrir cuál fue el origen de las infecciones, cómo crecen los brotes, y qué parte del proceso de transmisión podemos haber pasado por alto. Estos métodos también son ilustrativos de una tendencia más amplia en el análisis de los brotes: la capacidad de combinar nuevas fuentes de datos para obtener una información que tradicionalmente ha sido muy esqui va. Con la filogenética, podemos analizar la propagación de los brotes cotejando la información de los pacientes con los datos genéticos de los virus que los han infectado. Este enfoque basado en el «cotejo de datos» se está convirtiendo en una forma muy importante de comprender cómo mutan y cómo se propagan las cosas en una población. Pero no siempre se usa de la forma que esperaríamos.

Ricitos de Oro era una anciana mentirosa y malhablada que desvalijó a un trío de bien intencionados osos. Al menos, así era cuando el poeta Robert Southey publicó por vez primera esta historia, en 1837. Después de zamparse tres cuencos de gachas y de romper una silla, la mujer oyó que los osos habían vuelto a casa y escapó por una ventana. Southey no dio un nombre a su personaje, ni un cabello dorado; esos detalles vendrían más tarde, a medida que la malvada mujer evolucionaba a una niña traviesa y finalmente a la Ricitos de Oro que muchos de nosotros hoy conocemos. [538]

El cuento de los osos había estado circulando durante mucho tiempo. Unos años antes de que Southey publicase su historia, una mujer llamada Eleanor Mure había escrito un libro artesanal para su sobrino. En esta ocasión los osos atrapaban a la anciana al final del cuento. Enfadados por el daño causado, la quemaban, intentaban ahogarla y después la empalaban en la aguja de la catedral de San Pablo. En una historia popular anterior, los tres osos serraban por la mitad a un malvado zorro.

Según el antropólogo de la Universidad de Durham Jamie Tehrani, podemos pensar en la cultura como una información que muta a medida que se transmite de persona a persona y de generación en generación. Si queremos comprender la propagación y la evolución de la cultura, las historias populares son útiles porque son productos de su sociedad. En su opinión, «por definición, los cuentos populares no tienen una única versión oficial. Son historias que pertenecen a todos los miembros de una comunidad. Tienen esta cualidad orgánica». [539]

El trabajo de Tehrani sobre los cuentos populares comenzó con «Caperucita Roja». Si vives en Europa Occidental o Norteamérica, estarás familiarizado con el cuento del siglo XIX de los hermanos Grimm: una niña va de visita a casa de su abuela, y se encuentra con un lobo disfrazado. No obstante, esta no es la única versión de la historia. Hay otros cuentos populares similares a «Caperucita Roja». En el este de Europa y en Oriente Medio se cuenta la historia de «Los niños y el lobo»: un lobo disfrazado engaña a un grupo de cabritos para que le dejen entrar en su casa. En Asia Oriental, está el cuento de «La abuela tigre», en el que un grupo de niños se encuentran con un tigre que se hace pasar por una familiar mayor.

El cuento se expandió por el mundo, pero es difícil decir en qué dirección. Una teoría común entre los historiadores afirmaba que la versión de Asia Oriental era la original, mientras que la europea y la de Oriente Medio llegaron después. Pero ¿realmente «Caperucita Roja» y «Los niños y el lobo» son una evolución de «La abuela tigre»? Históricamente, los cuentos populares suelen ser orales, más que escritos, lo que significa que su registro histórico es superficial y fragmentario. En muchas ocasiones no está muy claro cuándo y dónde se originó una historia.

Es aquí donde entra el análisis filogenético. Para investigar la evolución de «Caperucita Roja» y sus variantes, Tehrani reunió casi sesenta versiones diferentes de la historia, a lo largo de varios continentes. En lugar de una secuencia genética, resumió cada uno de ellos basándose en un conjunto de setenta y dos características de la trama, como el tipo de personaje principal, el truco empleado para engañarlo y cómo termina la historia. Después estimó cómo habían evolucionado estas características, trazando un árbol filogenético que cartografiaba la relación entre las distintas historias. [540] Su análisis produjo una conclusión inesperada: basándose en el árbol filogenético, parecía que «Los niños y el lobo» y «Caperucita Roja» eran las primeras versiones de la historia. Contrariamente a la creencia más

extendida, «La abuela tigre» era aparentemente una mezcla de cuentos existentes, en lugar de la versión original a partir de la cual habían evolucionado las demás.

El pensamiento evolutivo tiene una larga historia en el estudio del lenguaje y la cultura. Décadas antes de que Darwin dibujase su árbol de la vida, el lingüista William Jones se había interesado en la emergencia de las lenguas, un campo conocido como «filología». En 1786, Jones señaló las similitudes entre el griego, el sánscrito y el latín, y escribió que «ningún filólogo puede estudiar las tres sin pensar que han surgido de alguna fuente común, que quizás ya no exista». [541] En términos evolutivos, lo que estaba sugiriendo es que esos idiomas habían evolucionado a partir de un ancestro común. Las ideas de Jones influirían en muchos otros académicos, incluidos los hermanos Grimm, que eran ávidos lingüistas. Además de coleccionar distintas variantes de cuentos populares, intentaron estudiar cómo el uso del lenguaje había cambiado a lo largo del tiempo. [542]

Los métodos filogenéticos modernos hacen posible analizar la evolución de esas historias con mucho mayor detalle. Después de estudiar «Caperucita Roja», Jamie Tehrani trabajó con Sara Graça da Silva, de la Universidad de Lisboa, para examinar un número mucho mayor de historias, rastreando la evolución de un total de 275 cuentos populares. Descubrieron que algunos cuentos tienen una larga historia; historias como «El enano saltarín» y «La bella y la bestia» podrían haber surgido originalmente hace unos cuatro mil años. Esto significaría que son tan antiguos como los idiomas indoeuropeos a través de los cuales se difundieron. Aunque muchos cuentos populares acabaron teniendo un gran alcance, Da Silva y Tehrani también descubrieron rastros de rivalidades locales. Señalaron que «la proximidad espacial parece haber tenido un efecto negativo en la distribución de los cuentos, lo que sugiere que era más probable rechazar que aceptar historias provenientes de comunidades vecinas». [543]

Los cuentos populares están en muchas ocasiones unidos a la identidad de un país, incluso aunque en su origen no lo estén. Los hermanos Grimm recopilaron su colección de historias «alemanas» tradicionales y observaron en ellas similitudes con cuentos de muchas otras culturas, desde la india hasta la árabe. El análisis filogenético confirma hasta qué punto se han producido préstamos entre historias. Tal como me dijo Tehrani, «no hay nada muy especial sobre la tradición oral de un país. De hecho, todas esas tradiciones están muy globalizadas».

Pero ¿por qué los humanos empezaron a contar historias? Una explicación es que los cuentos nos ayudan a preservar información útil. La evidencia indica que la narración es una habilidad muy valorada en sociedades de cazadores-recolectores, lo que lleva a la hipótesis de que las historias se asentaron en los estadios iniciales de la historia humana porque los buenos narradores eran más deseables como parejas. [544] Hay dos teorías rivales acerca del tipo de información basada en historias que hemos aprendido a valorar. Algunos investigadores sugieren que las historias ligadas a la supervivencia son más importantes: en el fondo, queremos información sobre dónde están la comida y el peligro. Esto explicaría por qué los cuentos que evocan reacciones como el asco son más memorables: no queremos envenenarnos. Otros han argumentado que, debido a que las interacciones sociales dominan la vida humana, la información socialmente relevante es más útil. Esto implicaría que recordaremos preferentemente detalles sobre relaciones y acciones que infringen normas sociales. [545]

Para comprobar estas dos hipótesis, Tehrani y sus colegas condujeron un experimento que analizaba la propagación de las leyendas urbanas. Su estudio imitaba el juego infantil del teléfono: los cuentos se pasaban de una persona a otra, y después a otra, y así la última versión mostraría cuánto se recordaba del cuento. Descubrieron que las historias que contenían información social o sobre supervivencia eran más recordadas que las historias neutras, con una cierta ventaja de las historias sociales frente a las de supervivencia. [546]

Hay otros factores que pueden fomentar el éxito de ciertas historias. Experimentos anteriores con el juego del teléfono descubrieron que los cuentos tienden a hacerse más cortos y más sencillos a medida que se difunden: la gente recuerda la esencia, pero no los detalles. Las sorpresas también pueden ayudar a un cuento. La evidencia muestra que los cuentos son más pegadizos si incluyen ideas contraintuitivas. No obstante, hay que conseguir un equilibrio. Las historias necesitan elementos sorprendentes, pero no demasiados. Los cuentos populares de éxito generalmente contienen muchos elementos familiares combinados con un par de giros absurdos. Piénsese por ejemplo en «Ricitos de Oro», la historia de una niña que explora el hogar de una madre, un padre y un bebé —el giro, por supuesto, es que es una familia de osos—. Este truco narrativo también explica el atractivo de las teorías de la conspiración, que exageran eventos de la vida real añadiendo un sesgo inesperado. [547]

Y después está la estructura de la historia. La popularidad de «Ricitos de Oro» podría no deberse a la protagonista, sino a los tres osos. Convierten la historia en una secuencia de memorables tripletes: los cuencos de gachas están demasiado calientes, demasiado fríos, a la temperatura adecuada; las camas son demasiado blandas, demasiado duras, adecuadamente mullidas. Este recurso retórico, conocido como la «regla de tres», aparece regularmente en la política, desde los discursos de Abraham Lincoln hasta los de Barack Obama. [548] ¿Por qué son tan potentes las listas de tres elementos? Puede que tenga algo que ver con la importancia de los tríos en las matemáticas: en general, necesitamos al menos tres elementos en una secuencia para establecer (o romper) un patrón. [549]

Los patrones también pueden resultar útiles para la propagación de palabras individuales. A medida que el lenguaje evoluciona, nuevas palabras tienen que competir para desplazar a otras que ya son populares. En esas situaciones, podríamos esperar que la gente prefiera palabras que sigan reglas consistentes. Por ejemplo, los verbos en forma pretérita a menudo acaban en inglés en el sufijo *-ed* , por lo que tiene sentido que el término histórico *smelt* (fundió) haya dado lugar a *smelled* , mientras que *wove* (tejió) se ha convertido gradualmente en *weaved* . [550]

No obstante, algunas palabras del idioma inglés han evolucionado en la otra dirección. En la década de 1830, la gente habría utilizado el término *lighted* para decir que habían encendido una vela; hoy emplearían el término *lit* . Un grupo de biólogos y lingüistas de la Universidad de Pensilvania consideran que el ritmo tiene algo que ver en ello. Se dieron cuenta de que a mediados del siglo XX , los estadoundienses empezaron a decir *dove* en lugar de *dived* como la forma en pretérito de *to dive* (bucear). Más o menos al mismo tiempo, la aparición de coches muy populares estaba haciendo que la gente adoptase palabras como *drive* (conducir) y *drove* (condujo). Igualmente, la gente empezó a decir *lit* (encendió) y *quit* (renunció) en lugar de *lighted* y *quitted* durante la época en la que *split* (partió) se convirtió en una forma popular de decir que te ibas.

Historias y palabras nuevas pueden propagarse entre una población a través de dos vías. O bien pasan de generación en generación, quizá con alguna variación en el camino; esto se conoce como «transmisión vertical». O bien, los cuentos prevalentes en distintas comunidades pueden mezclarse en una misma generación, en un proceso de «transmisión horizontal». Da Silva y Tehrani descubrieron que ambos tipos de transmisión han influido

en la propagación de los cuentos populares, pero para la mayoría de las historias, la ruta vertical era la más importante. Otras áreas de la vida, no obstante, pueden estar dominadas por la transmisión horizontal. Los creadores de los programas informáticos a menudo reutilizan líneas de código ya existentes, quizá porque el código contiene una característica útil que necesita ser incluida, o porque quieren ahorrar tiempo. En términos evolutivos, esto significa que el código informático puede «viajar a través del tiempo»; trozos de viejos programas aparecen repentinamente en programas nuevos. [551]

Si partes de historias o códigos informáticos se mezclan en una única generación, dibujar un árbol evolutivo nítido se vuel ve una tarea difícil. Si un padre le cuenta a su hijo una historia familiar tradicional, y el niño incorpora partes de las historias familiares de sus amigos, el nuevo cuento esencialmente está fundiendo estas ramas distintas de las historias. El mismo problema es bien conocido para los biólogos. Tomemos, por ejemplo, la pandemia de «gripe porcina» de 2009. El brote comenzó con la mezcla de genes de cuatro virus —un virus de gripe aviar, un virus de gripe humana y dos cepas distintas de gripe porcina— en un cerdo infectado en México, la cual creó un nuevo virus híbrido que después se propagó a los humanos. [552] Uno de esos genes estaba relacionado estrechamente con otros virus de la gripe humana; otro era similar a cepas de la gripe aviar entonces en circulación; otros eran parecidos al virus porcino. Y, sin embargo, una vez integrados en el nuevo virus, no se parecían a nada. Cambios como estos muestran las limitaciones de la metáfora simple del árbol. Aunque el árbol de la vida capta muchas de las características de la evolución, la realidad —en la que los genes potencialmente se transmiten dentro de una generación además de entre generaciones— se parece más a un seto extraño y descuidado. [553]

Los procesos de transmisión horizontal y vertical pueden generar importantes diferencias en la forma en la que los rasgos se propagan a través de una población. En las aguas de la bahía Shark en Australia occidental, un puñado de delfines mulares han comenzado a usar herramientas para procurarse alimentos. Los biólogos marinos observaron por vez primera este comportamiento en 1984; los delfines estaban arrancando trozos de esponjas marinas y usándolos como máscaras protectoras mientras buscaban peces en el lecho marino. Pero no todos los delfines en la bahía Shark adoptaron el «esponjeo». Solo uno de cada diez

adoptó la técnica. [554] ¿Por qué no se difundió más? Veinte años después de que los biólogos observasen el esponjeo por vez primera, un grupo de investigadores usaron datos genéticos para mostrar que la táctica era casi enteramente el resultado de una transmisión vertical. Los delfines son conocidos animales sociales, pero parece que después de que un delfín apareciese con la innovación, esta solo se difundía a través de su linaje familiar. Los individuos que no estaban relacionados con la familia siguieron procurándose comida sin usar las esponjas. De hecho, la familia de delfines había creado su propia y única tradición.

Según la ecologista Lucy Aplin, tanto la transmisión cultural vertical como la horizontal se pueden dar en el mundo animal. Tal como me dijo, «todo depende realmente de las especies, y también del comportamiento que se esté aprendiendo». Señaló que el tipo de transmisión puede afectar a cuánto se difunde la nueva información. «Podrías pensar que, por ejemplo, en delfines, donde la mayor parte del aprendizaje se produce verticalmente, terminarás con comportamientos específicos de una familia, y es muy difícil que se transmitan más ampliamente». Por el contrario, la transmisión horizontal puede tener como resultado una adopción mucho más rápida de las innovaciones. Ese tipo de transmisión es habitual en especies de aves como el carbonero común. «Gran parte de su aprendizaje social se produce horizontalmente —dijo Aplin—. La información se adquiere observando a individuos no relacionados en el periodo invernal, en lugar de ser transmitido de padres a hijos». [555]

Para algunos animales, la diferencia entre tipos de transmisión podía ser crucial para la supervivencia. A medida que los humanos alteran el medio ambiente natural cada vez más, las especies que pueden transmitir innovaciones de manera efectiva estarán mejor preparadas para ajustarse a los cambios. En palabras de Aplin, «los hechos muestran crecientemente que algunas especies pueden mostrar un alto grado de flexibilidad frente a entornos cambiantes. Como resultado de ello, parece que tienen éxito en ajustarse a los hábitats modificados por el ser humano y al cambio inducido por los humanos».

Una eficiente transmisión también ayuda a los organismos a resistir cambios provocados por los humanos a un nivel microscópico. Varios tipos de bacterias han experimentado mutaciones que las hacen resistentes a los antibióticos. Además de propagarse verticalmente cuando las bacterias se reproducen, estas mutaciones genéticas a menudo se transmiten

horizontalmente en la misma generación. Así como los programadores de *software* pueden copiar y pegar códigos entre archivos, las bacterias pueden coger fragmentos de material genético unas de otras. En años recientes, los investigadores han descubierto que esta transmisión horizontal está contribuyendo a la emergencia de superbacterias como el SARM, así como a ETS resistentes a los medicamentos. [556] A medida que las bacterias evolucionan, muchas infecciones comunes pueden acabar siendo intratables. En 2018, por ejemplo, un hombre fue diagnosticado en el Reino Unido con la llamada supergonorrea, que era resistente a todos los antibióticos habituales. Había contraído la infección en Asia, pero al año siguiente aparecieron dos nuevos casos en el Reino Unido, esta vez con vínculos en Europa. [557] Para que los investigadores puedan rastrear y prevenir esas infecciones, necesitarán todos los datos posibles.

Gracias a la disponibilidad de nuevas fuentes de información como las secuencias genéticas, somos cada vez más capaces de desentrañar cómo diferentes rasgos y enfermedades se propagan a través de la población. De hecho, una de las mayores transformaciones en los tratamientos de salud en el siglo XXI ha sido la capacidad para determinar rápidamente y a bajo coste la secuencia genética y el análisis del genoma. Además de facilitar el descubrimiento de los brotes, los investigadores podrán gracias a ello estudiar cómo los genes humanos influyen en toda una variedad de enfermedades, desde el alzhéimer al cáncer. [558] La genética también tiene aplicaciones sociales. Debido a que nuestros genomas pueden revelar información sobre, por ejemplo, cuáles son nuestros ancestros, los equipos de pruebas genéticas se han convertido en regalos populares para personas interesadas en su historia familiar.

Y, no obstante, la fácil disponibilidad de esos datos puede tener efectos no intencionados sobre la privacidad. Debido a que compartimos tantas características genéticas con nuestros parientes, es posible enterarnos de cosas de individuos que no han sido sometidos a la prueba genética. En 2013, por ejemplo, *The Times* (Londres) informó de que el príncipe Guillermo tenía ancestros indios por línea materna. Los genetistas criticaron la historia, porque suponía revelar información personal sobre el príncipe Guillermo sin su consentimiento. [559] En algunos casos las revelaciones sobre ancestros pueden tener consecuencias devastadoras: ha habido varios casos de familias destrozadas al descubrir adopciones secretas o

infidelidades en una prueba de ascendencia recibida como regalo de Navidad. [560]

Ya hemos visto cómo los datos sobre nuestro comportamiento *online* se recopilan y se comparten para que las empresas puedan dirigir mejor a quién envían anuncios. Los expertos en *marketing* no solo miden cuántas personas han cliqueado un anuncio; también saben qué tipo de persona ha entrado en el anuncio, de dónde viene y qué hizo a continuación. Combinando estas bases de datos, los expertos en *marketing* pueden determinar qué influye en qué. Se emplea el mismo enfoque cuando se analizan datos genéticos humanos. En lugar de observar las secuencias genéticas de forma aislada, los científicos las comparan con información como el origen étnico o el historial médico. El objetivo es desentrañar las pautas que vinculan las distintas bases de datos. Si los investigadores conocen la forma de estas pautas, pueden predecir cosas como el origen étnico o el riesgo de enfermedades a partir del código genético básico. Esta es la razón por la cual las empresas de pruebas genéticas como 23andMe han atraído a tantos inversores. No solo están reuniendo los datos genéticos de los clientes; están también reuniendo información sobre quiénes son estas personas, lo que posibilita extraer información más profunda sobre cuestiones de salud. [561]

Las empresas no son las únicas que están construyendo esas bases de datos. Entre 2006 y 2010, medio millón de personas se presentaron voluntarias para el proyecto británico de Biobank, que tiene como objetivo el estudio de las pautas genéticas y de salud en las próximas décadas. A medida que la base de datos crece y se expande, será accesible para equipos de investigación a lo largo de todo el planeta, lo que creará un recurso científico muy valioso. Desde 2017, miles de investigadores se han registrado para acceder a los datos, con la esperanza de trabajar en proyectos de investigación sobre enfermedades, traumatismos, nutrición, capacidad física y salud mental. [562]

Compartir información sobre salud con los investigadores puede generar enormes beneficios. Pero dado que las bases de datos van a ser accesibles para múltiples grupos es necesario pensar en cómo proteger la privacidad de la gente. Una forma de reducir riesgos sería eliminar aquella información que pueda emplearse para identificar a los participantes. Por ejemplo, una vez que los investigadores acceden a bases de datos médicas, la información personal de los pacientes, como sus nombres y su dirección,

normalmente se elimina. No obstante, incluso sin estos datos, podría ser posible identificar a la gente. Latanya Sweeney, estudiante de grado en el MIT a mediados de la década de 1990, sospechaba que si conocías la edad de un ciudadano estadounidense, su género y su código postal, en muchos casos podías identificar a la persona. En esa época, varias bases de datos incluían ese tipo de información. Sweeney consideraba que si se combinaba con un registro electoral, probablemente uno podría averiguar a quién pertenecía cada historial médico. [563]

Y eso es lo que hizo. Tal como recordó más tarde, «para comprobar mi hipótesis, necesitaba buscar a alguien en los datos». [564] El estado de Massachusetts recientemente había hecho accesibles para los investigadores historiales hospitalarios «anonimizados». Aunque el gobernador William Weld aseguraba que la privacidad de los pacientes estaba protegida, el análisis de Sweeney sugería que esto no era así. Pagó veinte dólares para acceder al registro de votantes de Cambridge, donde vivía Weld, después cruzó la edad, el género y el código postal del gobernador con la base de datos del hospital. No tardó en encontrar su historial médico, y se lo mandó por correo. El experimento —y la publicidad que generó— llevaría finalmente a la adopción de grandes cambios en el almacenamiento de la información médica y en los criterios para compartirla en los Estados Unidos. [565]

A medida que los datos pasan de un ordenador a otro, también lo hace la información sobre la vida de la gente. No solo tenemos que ser cuidadosos con la información médica o genética; incluso bases de datos aparentemente inocuas pueden contener detalles personales sorprendentes. En marzo de 2014 Chris Whong, que se definía a sí mismo como un «yonqui de los datos», utilizó la Ley de Libertad de Información para pedir detalles de cada carrera de taxi en la ciudad de Nueva York durante el año anterior. La Comisión del Taxi y las Limusinas de la Ciudad de Nueva York entregó la base de datos, la cual incluía la hora y la localización de las recogidas de clientes y dónde los habían dejado, la tarifa y cuánta propina había dado cada pasajero. [566] La base de datos incluía un total de alrededor de 173 millones de viajes. El informe no identificaba cada taxi por las matrículas reales, sino a través de una serie de dígitos aparentemente aleatorios. Pero resultó que los viajes eran de todo menos anónimos. Tres meses después de que se publicase la base de datos, el científico de ordenadores Vijay Pandurangan mostró cómo descifrar los códigos de los taxis, pasando de los

dígitos mezclados a las matrículas originales. Y acto seguido, el estudiante de grado Anthony Tockar publicó una entrada de blog en la que explicaba qué otras cosas se podían encontrar a partir de los datos. Lo que descubrió es que, con unos trucos sencillos, era posible extraer una gran cantidad de información sensible. [567]

En primer lugar, mostró cómo se podía acosar a personas famosas. Después de pasar unas horas repasando imágenes de «celebridades en taxis en Manhattan en 2013», Tockar encontró varias fotos en las que se veía la matrícula del taxi. Cruzando estas fotos con las de blogs de personas famosas y revistas, reconstruyó cuál era el punto de partida y el destino de las carreras, y lo comparó con la supuestamente anónima base de datos del taxi. Pudo observar cuánta propina habían dejado —o no habían dejado— las personas famosas. «Aunque esta información es relativamente benigna, especialmente dado que ha pasado un año —escribió Tockar—, he revelado una información que previamente no era de dominio público».

Tockar reconoció que la mayor parte de la gente no estaría muy preocupada por esos análisis, por lo que decidió profundizar un poco más. Decidió centrarse en un club de *striptease* en el barrio de Hell's Kitchen, y se puso a buscar carreras de taxi a primera hora de la madrugada. Pronto identificó clientes frecuentes y rastreó el viaje de cada uno de ellos de vuelta a sus casas. No le costó mucho trabajo encontrarlos *online* y —después de una búsqueda rápida en las redes sociales— enterarse de su aspecto, cuánto valían sus casas y si tenían pareja o no. Tockar decidió no publicar esta información, pero no costaría mucho que otra persona llegase a las mismas conclusiones. Tal como señaló el mismo Tockar, «las consecuencias potenciales de este análisis pueden ser graves».

Los datos de GPS de alta resolución hacen extremadamente sencillo identificar a determinadas personas. [568] Un rastreo de nuestro GPS puede revelar fácilmente dónde vivimos, qué ruta seguimos para ir al trabajo, qué citas tenemos y a quién vemos. Al igual que con los datos de los taxis neoyorquinos, no hay que echar mucha imaginación para darse cuenta de hasta qué punto esa información puede ser un tesoro para acosadores, ladrones o chantajistas. En una encuesta de 2014, el 85 por ciento de los centros de acogida para víctimas de violencia doméstica en los Estados Unidos dijeron que habían protegido a personas de abusadores que los habían acosado a través del GPS. [569] Datos de usuarios de GPS pueden poner en riesgo incluso operaciones militares. En 2017, miembros del

Ejército de los Estados Unidos que usaban medidores de ejercicio físico revelaron sin darse cuenta la situación exacta de sus bases al descargar sus rutas de marcha y ciclismo. [570]

A pesar de estos riesgos, la disponibilidad de los datos sobre movimientos también genera valiosa información científica: permite que los investigadores estimen dónde se podrían propagar unos virus, ayuda a los equipos de emergencia en la asistencia a poblaciones desplazadas por desastres naturales o muestra a los planificadores cómo mejorar las redes de transporte urbano. [571] Los datos de GPS de alta resolución también han hecho posible analizar interacciones entre grupos específicos de personas. Hay estudios que han empleado datos para rastrear la segregación social, las agrupaciones políticas y la desigualdad, en países que van de los Estados Unidos a China. [572]

Si la frase anterior le hace sentir algo incómodo, no es el único. A medida que se incrementa la disponibilidad de datos digitales, también crece la preocupación sobre la privacidad. Cuestiones como la desigualdad suponen un gran desafío social —indudablemente digno de ser investigado—, pero hay un debate muy intenso acerca de hasta qué punto esa investigación tiene derecho a profundizar en los detalles de nuestros ingresos, actividades políticas o vida social. Al tratar de comprender el comportamiento humano, a menudo tenemos que decidir cuál es el precio que es aceptable pagar por el conocimiento.

Cuando mis colaboradores y yo hemos trabajado en proyectos que incluyen datos sobre movimientos, la privacidad ha sido una cuestión de suma importancia para nosotros. Por un lado, queremos reunir los datos más útiles posibles, especialmente si pueden ayudar a proteger a nuestras comunidades de brotes de enfermedades. Por otro lado, necesitamos proteger las vidas privadas de las personas en esas comunidades, incluso aunque eso signifique limitar la información que reunimos o publicamos. Para enfermedades como la gripe o el sarampión, nos enfrentamos a un desafío particular, porque los niños —que tienen un alto riesgo de contagio — son también un grupo de edad demasiado vulnerable como para ponerlos bajo observación. [573] Se podrían llevar a cabo una multitud de estudios que nos proporcionen datos útiles e interesantes sobre comportamiento social, pero serían difíciles de justificar dada la potencial infracción de privacidad.

En las escasas ocasiones en las que hemos utilizado datos de GPS de alta resolución, los participantes en nuestros estudios siempre han dado su consentimiento, y saben que solo nuestros investigadores tendrán acceso a su localización exacta. Pero no todo el mundo tiene la misma actitud hacia la privacidad. Imagine que su teléfono ha estado filtrando datos de GPS continuamente, sin su conocimiento, a empresas de las que nunca ha oído hablar. Esto es más probable de lo que podría pensar. En años recientes, ha aparecido una red poco conocida de traficantes de datos de GPS. Varias empresas han estado comprando datos de movimientos de cientos de aplicaciones a las que la gente ha dado permiso de acceso vía GPS, y después los han vendido a comerciales, investigadores y otros grupos. [574] Muchos usuarios ya se habían olvidado de que habían instalado esas aplicaciones —de ejercicio físico, previsión del tiempo o juegos—, y por supuesto también de haber dado su consentimiento a un rastreo constante. En 2019, el periodista estadounidense Joseph Cox informó de que había pagado a un cazarrecompensas para rastrear un teléfono mediante datos de localización de segunda mano. [575] Le costó trescientos dólares.

A medida que los datos de localización son más fácilmente accesibles, sirven de inspiración para un nuevo tipo de delitos. Los estafadores llevan tiempo usando los mensajes de *phishing* para engañar a clientes de distintas compañías induciéndoles a revelar información sensible. Ahora están desarrollando una modalidad de *phishing* , por así decirlo, con arpón, que incorpora datos específicos del usuario. En 2016, varios residentes en Pensilvania recibieron correos electrónicos para pedir que pagasen una multa por una infracción de tráfico reciente. Los correos informaban correctamente de la velocidad y de la localización de los vehículos. Pero no eran reales. La policía sospechó que los estafadores habían obtenido datos filtrados de GPS de una aplicación, y después los habían empleado para identificar a personas que habían circulado a demasiada velocidad por carreteras locales. [576]

Aunque las bases de datos de movimiento están demostrando ser muy poderosas, tienen algunas limitaciones. Incluso con una información muy detallada de los movimientos, hay un tipo de interacción que ha sido casi imposible de medir. Es un evento breve, a menudo invisible y particularmente elusivo en los estadios iniciales de un brote. Es también responsable de algunos de los incidentes más célebres de la historia de la medicina.

El doctor se registró en la habitación 911 del hotel Metropole de Hong Kong al final de una semana agotadora. A pesar de no sentirse muy bien, había hecho el viaje de tres horas desde el sur de China para asistir a la boda de su sobrino ese fin de semana. Había contraído una enfermedad con síntomas parecidos a los de la gripe unos pocos días antes y no se había librado de ella. No obstante, estaba a punto de empeorar mucho más. Veinticuatro horas más tarde estaría en una unidad de cuidados intensivos. Diez días más tarde, había muerto. [577]

Era el 21 de febrero de 2003, y el doctor era el primer caso de SARS en Hong Kong. Al final, otros dieciséis casos acabarían siendo asociados al Metropole: personas en habitaciones enfrente de la del doctor, a su lado o en el mismo pasillo. A medida que la enfermedad se propagaba, también crecía la urgente necesidad de comprender el nuevo virus que la estaba causando. Los científicos ni siquiera tenían información básica, como el retardo entre la infección y la aparición de los síntomas (es decir, el periodo de incubación). Con nuevos casos por todo el sudeste de Asia, la estadística Christl Donnelly y sus colegas del Imperial College de Londres y de Hong Kong se pusieron a estimar esta información crucial. [578]

El problema de determinar un periodo de incubación es que raramente podemos ver el momento real en el que se produjo la infección. Solo vemos personas que muestran síntomas posteriormente. Si queremos estimar el periodo medio de incubación, necesitamos por tanto encontrar personas que solo pudiesen haber sido contagiadas durante un periodo de tiempo específico. Por ejemplo, un empresario que se alojaba en el Metropole había coincidido únicamente un día con el doctor. Enfermó de SARS seis días después, por lo que este retardo pudo haber supuesto el periodo de incubación de esta infección. Donnelly y sus colegas intentaron localizar otros ejemplos similares, pero no había muchos más. De los mil cuatrocientos casos de SARS registrados en Hong Kong a finales de abril, solo cincuenta y siete habían tenido una exposición claramente definida al virus. En conjunto, estos ejemplos sugerían que el SARS tenía un periodo de incubación de unos 6,4 días. El mismo método se ha empleado desde entonces para estimar el periodo de incubación de otras infecciones nuevas, por ejemplo, la pandemia de gripe de 2009, de ébola en 2014 y de COVID-19 en 2020. [579]

Por supuesto, hay otra forma de determinar un periodo de incubación: infectar a alguien deliberadamente y ver qué pasa. Uno de los ejemplos más

tristemente célebres de este enfoque ocurrió en la ciudad de Nueva York en las décadas de 1950 y 1960. La escuela estatal Willowbrook, situada en Staten Island, acogía a unos seis mil niños con discapacidad intelectual. Abarrotada y sucia, la escuela sufría brotes frecuentes de hepatitis, lo que llevó al pediatra Saul Krugman, junto con sus colaboradores Robert McCollum y Joan Giles, a poner en marcha un proyecto para estudiar la infección. [580] La investigación implicaba infectar deliberadamente a niños de hepatitis para comprender cómo se desarrollaba y se propagaba la enfermedad. Además de medir el periodo de incubación, los investigadores descubrieron que se enfrentaban a dos tipos de virus de la hepatitis. Un tipo, al que ahora llamamos hepatitis A, se contagia de persona a persona, mientras que la hepatitis B se transmite a través de la sangre.

La investigación generó controversia además de hallazgos. A comienzos de la década de 1970 crecieron las críticas al proyecto, y los experimentos finalmente se cancelaron. El equipo de investigación argumentó que el proyecto no tenía problemas éticos: habían obtenido la aprobación de varios comités de ética y el consentimiento de los padres de los niños, y, dadas las miserables condiciones higiénicas de la escuela, muchos de los niños se habrían acabado contagiando de todas formas. Los críticos respondieron que, entre otras cosas, el formulario de consentimiento ocultaba los detalles del experimento, y que Krugman había exagerado la probabilidad de que los niños se contagiasen de forma natural. Tal como afirmó el pionero de las vacunas Maurice Hilleman: «Fueron los experimentos médicos con niños más inmorales de la historia de los Estados Unidos». [581]

Todo esto plantea la cuestión de qué hacer con ese conocimiento una vez que se ha obtenido. Los artículos derivados del estudio de Willowbrook se han citado cientos de veces, pero no todo el mundo está de acuerdo con ese tipo de reconocimiento. En opinión del médico Stephen Goldby, en una carta a *The Lancet* en 1971, «cada nueva referencia al trabajo de Krugman y Giles contribuye a su aparente respetabilidad ética, y desde mi punto de vista, ese trabajo debería dejar de citarse, o al menos hacerlo de manera muy matizada». [582]

Hay muchos ejemplos de conocimientos médicos con orígenes embarazosos. En la Gran Bretaña del siglo XIX , el número creciente de escuelas médicas creó una demanda masiva de cadáveres para las clases de anatomía. Enfrentados a una oferta legal limitada, los médicos recurrieron al mercado ilegal; un número cada vez mayor de cadáveres fueron sacados

de sus tumbas y vendidos a los profesores de anatomía. [583] Y, no obstante, lo más escandaloso han sido los experimentos con personas vivas. Durante la Segunda Guerra Mundial, médicos nazis infectaron deliberadamente a pacientes en Auschwitz con enfermedades como el tifus y el cólera, para medir cuestiones como el periodo de incubación. [584] Después de la guerra, la comunidad médica creó el Código de Núremberg, que establecía una serie de principios para la ética de los estudios. Incluso entonces, la controversia continuaría. Gran parte de nuestra información acerca de la fiebre tifoidea proviene de análisis realizados sobre presos estadounidenses en las décadas de 1950 y 1960. [585] Y después, por supuesto, vino el caso de Willowbrook, que transformó nuestro conocimiento de la hepatitis.

A pesar de la historia frecuentemente horrible de los experimentos humanos, los estudios que implican infecciones deliberadas van en aumento. [586] Hay voluntarios en el mundo entero que dan su consentimiento para participar en investigaciones sobre la malaria, la gripe, el dengue y otras enfermedades. En 2019, había en marcha docenas de estudios de ese tipo. Aunque algunos patógenos son demasiado peligrosos como para propagarlos intencionadamente —el ébola es un caso claramente impensable—, hay situaciones en las que los beneficios sociales y científicos de un experimento sobre infecciones pueden superar el hecho de que suponga un pequeño riesgo para los participantes. Los modernos experimentos sobre infecciones siguen unas directrices éticas mucho más estrictas, particularmente cuando dan información a los participantes y les piden su consentimiento, pero aun así deben conseguir un equilibrio entre beneficio y riesgo. Esta búsqueda de equilibrio se está volviendo algo especialmente importante también en otras áreas.

---

[522] Información sobre el caso de Schmidt: Tribunal de Apelación de Luisiana, Tercer Distrito, Estado de Luisiana vs. Richard J. Schmidt, n.º 99-1412, 2000; Miller, M., «A deadly attraction», *Newsweek* , 18 de agosto de 1996.

[523] Darwin, C., *Viaje de un naturalista alrededor del mundo* , 2 vols., Madrid: Ediciones Akal, 2009.

[524] Hon, C. C. *et al.* , «Evidence of the recombinant origin of a bat severe acute respiratory syndrome (SARS)—like coronavirus and its implications on the direct ancestor of SARS coronavirus», *Journal of Virology* , 2008.

[525] «Forensic file update on Janice Trahan case», transcripción, CNN, 14 de marzo de 2016, http://edition.cnn.com/TRANSCRIPTS/1603/14/ddhln.01.htlm.

[526] González-Candelas, F. *et al.* , «Molecular evolution in court: analysis of a large hepatitis C virus outbreak from an evolving source», *BMC Biology* , 2013; Fuchs, D., «Virus doctor jailed for 1933 years», *The Guardian* , 16 de mayo de 2007.

[527] Oliveria, T. *et al.* , «HIV-1 and HVC sequences from Libyan outbreak», *Nature* , 2006; «HIV medics released to Bulgaria», BBC.co.uk, 24 de julio de 2007, http://news.bbc-co.uk/2/hi/europe/6912965.stm.

[528] Köser, C. U. *et al.* , «Rapid whole-genome sequencing for investigation of a neonatal MRSA outbreak», *New England Journal of Medicine,* 2012; Fraser, C. *et al.* , «Pandemic potential of a train of influenza A (H1N1): early findings», *Science* , 2009.

[529] Kama, M. *et al.* , «Sustained low-level transmission of Zika and Chikungunya viruses following emergence in the Fiji Islands, Pacific», *Emerging Infectious Diseases* , 2016.

[530] Diallo, B. *et al.* , «Resurgence of Ebola virus disease in Guinea linked to a survivor with virus persistence in seminal fluid for more than 500 days», *Clinical Infectious Diseases* , 2016.

[531] Racaniello, V., «Zika virus, like all other viruses, is mutating», *Virology Blog* , 14 de abril de 2016, www.virology.ws/2016/04/14/zika-virus-like-all-other-viruses-is-mutating/.

[532] Beaty, B. M., y B. Lee, «Constraints on the genetic and antigenic variability of measles virus», *Viruses* , 2016.

[533] Información acerca de la disponibilidad de secuencias: Gire, S. K. *et al.* , «Genomic surveillance elucidates Ebola virus origin and transmission during the 2014 outbreak», *Science* , 2014; Yozwiak, N. L., «Data sharing: make outbreak research open access», *Nature* , 2015; Gytis Dudas, @evogytis, tuit, 21 de noviembre de 2018, https://twitter.com/evogytis/status/1065157012261126145.

[534] Citado en Sample, I., «Thousands of lives put at risk by clinical trail system that is “not fit for purpose”», *The Guardian* , 31 de marzo de 2014.

[535] Callaway, E., «Zika-microcephaly paper sparks data-sharing confusion», *Nature* , 12 de febrero de 2016; Maxmen, A., «Two Ebola drugs show promise amid ongoing outbreak», *Nature* , 12 de agosto de 2019; Johansson, M. A. *et al.* , «Preprints: an underutilized mechanism to accelerate outbreak science», *PLOS Medicine* , 2018; https://nextstrain.org/community/inrb-drc/ebola-nord-kivu.

[536] Sabeti, P., «How we’ll fight the next deadly virus», TEDWomen 2015, www.ted.com/talks/pardis_sabeti_how_we_ll_fight_the_deadly_virus?language=en.

[537] Hadfield, J. *et al.* , «Nextstrain: real-time tracking of pathogen evolution», *Bioinformatics* , 2018.

[538] Owlcation, «The history behind the story of Goldilocks», 22 de febrero de 2018, https://owlcation.com/humanities/goldilocks-and-three-bears.

[539] Información y citas de una entrevista del autor con Jamie Tehrani, octubre de 2017.

[540] Tehrani, J. J., «The phylogeny of Little Red Riding Hood», *PLOS ONE* , 2013.

[541] Citado en Van Wyhe, J., «The descent of words: evolutionary thinking 1780-1880», *Endeavour* , 2005.

[542] Luu, C., «The fairytale language of the brothers Grimm», *JSTOR Daily* , 2 de mayo de 2018, https://daily.jstor.org/the-fairytale-language-of-the-brothers-grimm/.

[543] Da Silva, S. G. y J. J. Tehrani, «Comparative phylogenetic analyses uncover the ancient roots of Indo-European folktales», *Royal Society Open Science* , 2015.

[544] Smith, D. *et al.* , «Cooperation and the evolution of hunter-gatherer storytelling», *Nature Communications* , 2017.

[545] Stubbersfield, J. M. *et al.* , «Serial killers, spiders and cybersex: social and survival information bias in the transmission of urban legends», *British Journal of Psychology* , 2015. Un resultado similar se ha encontrado en otros estudios telefónicos, en los que aparentemente la información social tiene ventaja en cuanto a su transmisión.

[546] Stubbersfield *et al.* , «Serial killers, spiders and cybersex».

[547] Información sobre elementos contraintuitivos: Mesoudi, A. y A. Whiten, «The multiple roles of cultural transmission experiments in understanding human cultural evolution», *Philosophical Transactions of the Royal Society B* , 2008; Stubbersfield, J. y J. Tehrani, «Expect the unexpected? Testing for minimally counterintuitive (MCI) bias in the transmission of contemporary legends: a computational phylogenetic approach», *Social Science Computer Review* , 2013.

[548] Dlugan, A., «How to use the rule of three in your speeches», Six Minutes, 27 de mayo de 2009, http://sixminutes.dlugan.com/rule-of-the-three-speeches-public-speaking.

[549] La regla de tres es también común en la comedia, donde un tercer elemento inesperado es el que proporciona el remate del chiste.

[550] Newberry, M. G. *et al.* , «Detecting evolutionary forces in language change», *Nature* , 2017.

[551] Valverde, S. y R. V. Sole, «Punctuated equilibrium in the large-scale evolution of programming languages», *Journal of the Royal Society Interface* , 2015.

[552] Svinti, V. *et al.* , «New approaches for unravelling reassortment pathways», *BMC Evolutionary Biology* , 2013.

[553] Sample, I., «Evolution: Charles Darwin was wrong about the tree of life», *The Guardian* , 21 de enero de 2009.

[554] Información sobre el esponjeo: Krützen, M. *et al.* , «Cultural transmission of tool use in bottlenose dolphins», *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* , 2005; Morell, V., «Why dolphins wear sponges», *Science* , 20 de julio de 2011.

[555] Información y citas de una entrevista del autor con Lucy Aplin, agosto de 2017.

[556] Baker, K. S. *et al.* , «Horizontal antimicrobial resistance transfer drives epidemics of multiple Shigella species», *Nature Communications* , 2018; McCarthy, A. J. *et al.* , «Extensive horizontal gene transfer during *Staphylococcus aureus* co-colonization in vivo», *Genome Biology and Evolution* , 2014; Alirol, E. *et al.* , «Multidrug resistant gonorrhea: a research and development roadmap to discover new medicines», *PLOS Medicine* , 2017.

[557] Gallagher, J., «Man has "world's worst" super-gonorrhoea», BBC.com, 28 de marzo de 2018, www.bbc.com/news/health-43571120; Gallagher, J., «Super-gonorrhoea spread causes "deep concern"», BBC.com, 9 de enero de 2019, www.bbc.com/news/health-46809526.

[558] Sociedad contra el Alzhéimer, «Alzheimer's Society's view on genetic testing», actualizado en abril de 2015, www.alzheimers.org.uk/about-us/policy-and-influencing/what-we-think/genetic-testing; Organización Británica de Investigación sobre el Cáncer, «Genetic testing for cancer risk», revisado por última vez el 3 de septiembre de 2018, www.cancerresearchuk.org/about-cancer/causes-of-cancer/inherited-cancer-genes-and-increased-cancer-risk/genetic-testing-for-cancer-risk.

[559] Middleton, A., «Attention *The Times* : Prince William's DNA is not a toy», *The Conversation* , 14 de junio de 2013, https://theconversation.com/attention-the-times-prince-williams-dna-is-not-a-toy-15216. Los investigadores también han criticado el análisis científico detrás de la historia.

Fuente: Kennett, D. A., «The rise and fall of Britain's DNA: a tale of misleading claims, media manipulation and threats to academic freedom», *Genealogy* , 2018.

[560] Ash, L., «The Christmas present that could tear your family apart», BBC.com, 20 de diciembre de 2018, www.bbc.com/news/stories-46600325.

[561] Clark, K., «Scoop: 23andMe is raising up to $300M», *PitchBook,* 4 de julio de 2018; Rutherford, A., «DNA ancestry tests may look cheap. But your data is the price», *The Guardian* , 10 de agosto de 2018.

[562] Cox, N., «UK Biobank shares the promise of big data», *Nature* , 10 de octubre de 2018.

[563] Basándose en los datos del censo de 1990, Sweeney estimó que se podía identificar al 87 por ciento de las personas. Estudios subsiguientes rebajaron esta cifra a un 61-63 por ciento, basándose en datos de 1990 y 2000. Información al respecto: Sweeney, L., «Simple demographics often identify people uniquely», documento de trabajo sobre privacidad de los datos, Universidad Carnegie Mellon, 2000; Ohm, P., «Broken promises of privacy: responding to the surprising failure of anonymization», *UCLA Law Review* , 2010; Sweeney, L., «Only you, your doctor, and many others may know», *Technology Science* , 2015.

[564] Sweeney, «Only you, your doctor, and many others may know».

[565] Smith, S., «Data and privacy», *Significance* , 3 de octubre de 2014.

[566] Información sobre los datos de los taxis: Whong, C., «FOILing NYC's taxi trip data», 18 de marzo de 2014, https://chriswhong.com; Pandurangan, V., «On taxis and rainbows», 21 de junio de 2014, https://tech.vijayp.ca.

[567] Información y citas de Tockar, A., «Riding with the stars: passenger privacy in the NYT taxicab dataset», Neustar, 15 de septiembre de 2014, https://research.neusbar.biz.

[568] De Montjoye, Y. A., «Unique in the crowd: the privacy bounds of human mobility», *Scientific Reports* , 2013.

[569] Shahani, A., «Smartphones are used to stalk, control domestic abuse victims», National Public Radio, 15 de septiembre de 2014, www.npr.org/sections/alltechconsidered/2014/09/15/346149979/smartphones-are-used-to-stalk-control-domestic-abuse-victims.

[570] Hern, A., «Fitness tracking app Strava gives away location of secret US army bases», *The Guardian* , 28 de enero de 2014.

[571] Watts, A. G. *et al.* , «Potential Zika virus spread within and beyond India», *Journal of Travel Medicine* , 2018; Bengtsson, L. *et al.* , «Improved response to disasters and outbreaks by tracking population movements with mobile phone network data: a post-earthquake geospatial study in Haiti», *PLOS Medicine* , 2011; Santi, P. *et al.* , «Quantifying the benefits of vehicle pooling with shareability networks», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* , 2014.

[572] Chen, M. K. y R. Rohla, «The effect of partisanship and political advertising on close family ties», *Science* , 2018; Silm, S. *et al.* , «Are younger age groups less segregated? Measuring ethnic segregation in activity spaces using mobile phone data», *Journal of Ethnic and Migration Studies* , 2017; Xiao, Y. *et al.* , «Exploring the disparities in park access through mobile phone data: evidence from Shanghai, China», *Landscape and Urban Planning* , 2019; Atlas de la Desigualdad, https://inequality.media.mit.edu.

[573] Conlan, A. J. K. *et al.* , «Measuring social networks in British primary schools through scientific engagement», *Proceedings of the Royal Society B* , 2010.

[574] Información sobre los traficantes de GPS: Harris, R., «Your apps know where you were last night, and they're not keeping the secret», *New York Times* , 10 de diciembre de 2018; Signoret, P., «Teemo, la start-up qui traque 10 millions de Français en continu», *L'Express* , 25 de agosto de 2018; «Is geospatial data a $100 billion business for SafeGraph?», *Nanalyze* , 22 de abril de 2017, www.nanalyze.com/2017/04/geospatial-data-technology-safegraph/.

[575] Un dato relevante es que el objeto del rastreo dio su consentimiento. Fuente: Cox, J., «I gave a bounty hunter $300. Then he located our phone», *Motherboard* , 8 de enero de 2019, www.vice.com/en_us/article/nepxbz/i-gave-a-bounty-hunter-300-dollars-located-phone-microbilt-zumigo-tmobile.

[576] «Scam alert: speeding ticket email scam», Tredyffrin, Pensilvania, Departamento de Policía, 23 de marzo de 2016, https://chester.crimewatchpa.com/tredyffrinpd/7372/post/scam-alert-speeding-ticket-email-scam.

[577] Información sobre la introducción del SARS: *SARS Commission Final Report* , Gobierno de Ontario, 2005; Tsang, K. W. *et al.* , «A cluster of cases of severe acute respiratory syndrome in Hong Kong», *New England Journal of Medicine,* 2003.

[578] Donnelly, C. A. *et al.* , «Epidemiological determinants of spread of causal agent of severe acute respiratory syndrome in Hong Kong», *The Lancet* , 2003.

[579] Equipo de Respuesta al Ébola de la OMS, «Ebola virus disease in West Africa: the first 9 months of the epidemic and forward projections», *New England Journal of Medicine* , 2014; Assiri, A. *et al.* , «Hospital outbreak of Middle East respiratory syndrome coronavirus», *New England Journal of Medicine* , 2013; Consulta de la OMS sobre Aspectos Clínicos de la Pandemia de Gripe (H1N1) de 2009, «Clinical aspects of pandemic 2009 influenza A (H1N1) virus infection», *New England Journal of Medicine* , 2013; Lauer, S. A. *et al.* , «The incubation period of coronavirus disease 2019 (COVID-19) from public reported confirmed cases: estimation and application», *Annals of Internal Medicine* , https://annals.org/aim/fullarticle/2762808/incubation-period-coronavirus-disease-2019-covid-19-from-publicly-reported.

[580] Información sobre Willowbrook: Rothman, D. J., *The Willowbrook Wars: Bringing the Mentally Disabled into the Community* , Piscataway (Nueva Jersey): Aldine Transaction, 2005; Fansiwala, K., «The duality of medicine: the Willowbrook State School experiments», *Medical Dialogue Review* , 20 de febrero de 2016; Watts, G., «Robert Wayne McCollum», *The Lancet* , 2010.

[581] Citado en Offit, P., *Vaccinated: One Man's Quest to Defeat the World's Deadliest Diseases* , Nueva York: Harper Perennial, 2008.

[582] Goldby, S., «Experiments at the Willowbrook State School», carta al editor, *The Lancet* , 1971.

[583] Gordon, R. M., *The Infamous Burke and Hare: Serial Killers and Resurrectionists of Nineteenth Century Edinburgh* , Jefferson (Carolina del Norte): McFarland, 2009.

[584] Transcripción de NMT1: Juicio Médico, 9 de enero de 1947, Proyecto de los Juicios de Núremberg, Biblioteca de la Escuela de Derecho de Harvard.

[585] Waddington, C. S. *et al.* , «Advancing the management and control of typhoid fever: a review of the historical role of human challenge studies», *Journal of Infection* , 2014.

[586] Información sobre estudios modernos: Cohen, J., «Studies that intentionally infect people with disease-causing bugs are on the rise», *Science* , 18 de mayo de 2016; https://clinicaltrials.gov; Nordling, L., «The ethical quandary of human infection studies», *Undark* , 19 de noviembre de 2018, https://undark.org/2018/11/19/ethical-quandry-human-infection/.

08

Un punto problemático

Grenville Clark se acababa de acomodar en la silla del conferenciante cuando alguien le pasó una nota. [587] Clark, abogado de formación, había organizado la conferencia para discutir el futuro de la recién creada Organización de las Naciones Unidas y lo que suponía para la paz mundial. Sesenta delegados habían llegado ya a la sala de conferencias, en la Universidad de Princeton, pero había otra persona que quería unirse. La nota en manos de Clark era de Albert Einstein, que trabajaba en el aledaño Instituto de Estudios Avanzados.

Era enero de 1946, y muchos de los miembros de la comunidad de físicos estaban atormentados por su papel en los recientes bombardeos atómicos de Hiroshima y Nagasaki. [588] Aunque Einstein era un viejo pacifista y se había opuesto a la bomba, su carta al presidente Roosevelt en 1939, en la que advertía del potencial de una bomba atómica nazi, había sido el desencadenante del programa nuclear estadounidense. [589] Durante la conferencia de Princeton, un participante preguntó a Einstein sobre la incapacidad de la humanidad para gestionar la nueva tecnología. [590] ¿Por qué, cuando la mente del hombre ha conseguido descubrir la estructura del átomo, hemos sido incapaces de diseñar los mecanismos políticos necesarios para evitar que el átomo nos destruya? «La respuesta es sencilla, querido amigo —replicó Einstein—. Eso es porque la política es más difícil que la física». [591]

La física nuclear es uno de los mayores ejemplos de una «tecnología de uso dual». [592] La investigación en esta materia ha generado enormes beneficios científicos y sociales, pero también usos extremadamente dañinos. En los capítulos anteriores, hemos encontrado otros ejemplos de tecnologías que pueden tener usos tanto positivos como negativos. Las

redes sociales nos pueden conectar con antiguos amigos y con nuevas ideas. No obstante, también permiten la difusión de información falsa y de otros contenidos dañinos. Los análisis de brotes de criminalidad pueden identificar a personas que pueden estar en situación de riesgo, posibilitando interrumpir la transmisión; pero también pueden servir para alimentar algoritmos policiales sesgados que pueden llevar a criminalizar a ciertas minorías. Datos de GPS a gran escala revelan cómo responder de forma efectiva a las catástrofes, cómo mejorar los sistemas de transporte y cómo podrían propagarse nuevas enfermedades. [593] Pero también se corre el riesgo de que se produzcan filtraciones de información personal sin nuestro conocimiento, poniendo en peligro nuestra privacidad e incluso nuestra seguridad.

En marzo de 2018, el *Observer* informó de que Cambridge Analytica había reunido secretamente datos de decenas de millones de usuarios de Facebook, con el objetivo de construir perfiles psicológicos de votantes estadounidenses y británicos. [594] Aunque la eficacia de esos perfiles ha sido cuestionada por estadísticos, [595] el escándalo erosionó la confianza pública en las empresas tecnológicas. Según el ingeniero de *software* (y antiguo físico) Yonatan Zunger, la historia era una versión moderna de los debates éticos que ya se habían producido en campos como la física nuclear y la medicina. [596] Por esa época escribió que «el campo de la computación, a diferencia de otras ciencias, no se ha enfrentado aún a serias consecuencias negativas derivadas del trabajo que realizan los que lo practican». A medida que surgen nuevas tecnologías, no debemos olvidar las lecciones que los investigadores de otros campos ya han aprendido a las duras.

Cuando *«big data»* (o «macrodatos») se convirtió en el término de moda a comienzos del siglo XXI , se acogía con optimismo la idea de que pudiesen servir para usos múltiples. La esperanza era que los datos reunidos con un objetivo pudiesen ayudar a resolver problemas en otras áreas. Un buen ejemplo de ello era el servicio web de Google sobre Evolución de la Gripe (GFT, por sus siglas en inglés). [597] Al analizar las pautas de búsqueda de millones de usuarios, los investigadores sugerían que sería posible medir la evolución de la gripe en tiempo real, en lugar de tener que esperar una o dos semanas hasta que se publicasen los datos oficiales de la enfermedad en los Estados Unidos. [598] La versión inicial de GFT se anunció a comienzos de

2009, con resultados prometedores. No obstante, al poco empezaron a surgir las críticas.

El proyecto GFT tenía tres limitaciones principales. En primer lugar, las predicciones no siempre funcionaban muy bien. GFT había reproducido los picos estacionales invernales de gripe en los Estados Unidos entre 2003 y 2008, pero cuando la pandemia apareció inesperadamente en la primavera de 2009, GFT subestimó su magnitud enormemente. [599] Tal como dijo un grupo de académicos, «la versión inicial de GFT era en parte detector de la gripe, en parte detector del invierno». [600]

El segundo problema era que no estaba claro cómo se hacían las predicciones. GFT era esencialmente una máquina opaca, los datos de búsqueda entraban por un extremo y las predicciones salían por el otro. Google no proporcionaba los datos en bruto o los métodos a la comunidad investigadora, por lo que era imposible que otros diseccionasen el análisis y averiguasen por qué el algoritmo funcionaba bien en algunas situaciones y mal en otras.

Y después estaba el problema final —y quizá el mayor— de GFT: no parecía ser suficientemente ambicioso. Tenemos epidemias de gripe cada invierno porque el virus evoluciona, haciendo que las vacunas actuales sean menos efectivas. Igualmente, la razón principal por la que los Gobiernos están tan preocupados sobre una futura pandemia del virus de la gripe es que no tenemos una vacuna efectiva contra la nueva cepa. En el caso de una pandemia, llevaría seis meses desarrollar una, [601] y para entonces el virus ya se habrá propagado ampliamente. Para predecir la forma de los brotes de gripe, necesitamos una mejor comprensión de cómo evolucionan los virus, cómo interactúan las personas y cómo se inmunizan las poblaciones. [602] Enfrentados a esta situación tan compleja, lo que pretendía hacer GFT era simplemente informar de cuál era la actividad de la gripe más o menos una semana antes de lo habitual. Era una idea interesante en términos de análisis de datos, pero no una idea revolucionaria en el combate de las plagas.

Este es un error típico que se produce cuando los investigadores o las empresas plantean aplicar grandes bases de datos a aspectos más amplios de la vida. La tendencia es a asumir que, dado que existen tantos datos, debe haber otras cuestiones importantes que puedan ser respondidas a través de estos. Al final, el exceso de datos se convierte en una solución en busca de un problema.

A finales de 2016, la epidemióloga Caroline Buckee asistió a un evento de financiación tecnológica con el objetivo de vender su trabajo a los expertos de Silicon Valley. Buckee tenía mucha experiencia en el uso de la tecnología para estudiar brotes. En años recientes, había trabajado en varios estudios que usaban datos de GPS para investigar la transmisión de la malaria. Pero también era consciente de que esa tecnología tenía sus limitaciones. Durante el evento de recaudación de fondos, se sintió frustrada por la actitud prevalente de que, con suficiente dinero y codificadores, las empresas podían solucionar los problemas de salud mundiales. Más tarde escribiría que «en un mundo donde los magnates de la tecnología se están convirtiendo en grandes inversores en investigación, no debemos dejarnos llevar por la idea seductora de que graduados universitarios jóvenes y habituados a las nuevas tecnologías pueden por sí solos arreglar los problemas de salud pública desde sus ordenadores». [603]

Muchos enfoques tecnológicos no son ni factibles ni sostenibles. Buckee había enumerado muchos intentos fallidos de desarrollar estudios tecnológicos piloto o aplicaciones que esperaban «revolucionar» los métodos tradicionales. Y después estaba la necesidad de evaluar cómo funcionaban las medidas de salud, en lugar de simplemente asumir que surgirán de manera natural nuevas ideas, como ocurre con las nuevas empresas de éxito. En su opinión, «estar preparados para una pandemia requiere haber estado implicados durante mucho tiempo en la solución de problemas políticamente complejos y multidimensionales, y no en “revolucionar los métodos tradicionales”».

Aun así, la tecnología puede jugar un papel importante en los análisis de brotes. Los investigadores usan modelos matemáticos todos los días para ayudar a diseñar medidas de control, teléfonos inteligentes para reunir datos de pacientes y secuencias de patógenos para rastrear la propagación de una infección. [604] No obstante, los mayores desafíos son en muchas ocasiones prácticos más que de computación. Ser capaces de reunir y analizar datos es una cosa; detectar un brote y tener los recursos para hacer algo al respecto es otra muy distinta. Cuando el ébola causó su primera gran epidemia en 2014, la transmisión se centró en Sierra Leona, Liberia y Guinea, tres países que están entre los más pobres del mundo. Una segunda gran epidemia comenzaría en 2018, cuando el ébola golpeó una zona de conflicto en el noroeste de la República Democrática del Congo; hacia julio de 2019, con 2.500 casos y en progresión ascendente, la OMS declararía una emergencia

de salud pública de importancia internacional. [605] El desequilibrio global en capacidad sanitaria se manifiesta incluso en la terminología científica. El virus de la pandemia de gripe de 2009 surgió en México, pero su nombre oficial es «A/California/7/2009 (H1N1)», porque ahí estaba el laboratorio que identificó por primera vez el nuevo virus. [606]

Estos desafíos logísticos hacen que a los investigadores les cueste seguir el ritmo de los nuevos brotes. En 2015 y 2016, el zika se propagó ampliamente, lo que llevó a los investigadores a planificar estudios clínicos a gran escala y pruebas de vacunas. [607] Pero tan pronto como muchos de los estudios estuvieron listos para ponerse en marcha, los casos se detuvieron. Esta es una frustración común en la investigación de los brotes; para cuando las infecciones habían terminado, quedaban sin responder cuestiones fundamentales sobre el contagio. Por ello resulta esencial construir capacidades científicas a largo plazo. Aunque nuestro equipo de investigación se las ha arreglado para generar muchos datos sobre el brote de zika en Fiyi, esto solo fue posible porque daba la casualidad de que ya estábamos sobre el terreno investigando el dengue. Igualmente, algunos de los mejores datos sobre el zika provienen de un estudio de años sobre el dengue en Nicaragua dirigido por Eva Harris, de la Universidad de California en Berkeley. [608]

Los investigadores tampoco han sido capaces de seguir el ritmo de los brotes en otros campos. Muchos estudios sobre las informaciones falsas durante las elecciones estadounidenses de 2016 no se publicaron hasta 2018 o 2019. A otros proyectos que estudiaban las interferencias durante las elecciones incluso les ha costado ponerse en marcha, mientras que otros son ahora ya imposibles de realizar porque las empresas de redes sociales —ya sea inconscientemente o de forma deliberada— han eliminado los datos necesarios. [609] Al mismo tiempo, unas fuentes de datos fragmentarias y poco fiables han dificultado la investigación sobre las crisis bancarias, la violencia con armas de fuego y el uso de opiáceos. [610]

No obstante, obtener buenos datos es solo parte del problema. Incluso los mejores datos sobre un brote tendrán anomalías y limitaciones, lo que puede perjudicar el análisis. En su trabajo sobre la radiación y el cáncer, Alice Stewart señaló que los epidemiólogos raras veces pueden contar con el lujo de una buena base de datos. Tal como ella misma dijo, «no estás buscando un punto problemático en medio de un entorno completamente libre de problemas. Estás buscando un punto problemático en medio de una

situación muy confusa». [611] Lo mismo ocurre en muchos otros campos, ya se esté intentando estimar la propagación de la obesidad con datos sobre redes de amigos, descubrir pautas de consumo de drogas en una epidemia de opiáceos o rastrear los efectos de la información en diferentes redes sociales. Nuestras vidas son confusas y complicadas, y también lo son las bases de datos que generan.

Si queremos entender mejor los contagios, necesitamos tener en cuenta su naturaleza dinámica. Eso supone adaptar nuestros estudios a diferentes tipos de brotes, moviéndonos con rapidez para asegurarnos de que nuestros resultados sean lo más útiles posible, y encontrando nuevas formas de enhebrar los distintos hilos de información. Por ejemplo, ahora los investigadores de enfermedades combinan datos sobre casos, comportamiento humano, inmunidad poblacional y evolución del patógeno para investigar brotes escurridizos. Tomada de forma aislada, cada base de datos tiene sus propios fallos, pero si las observamos en su conjunto, pueden revelarnos una imagen más completa del contagio. Para describir estos enfoques, Caroline Buckee citaba a Virginia Woolf, que una vez dijo que «la verdad solo puede obtenerse colocando una junto a otra muchas variedades de error». [612]

Además de mejorar los métodos que empleamos, deberíamos centrarnos en las cuestiones que realmente importan. Tomemos por ejemplo el contagio social. Teniendo en cuenta la cantidad de datos que están disponibles en estos momentos, nuestra comprensión de cómo se propagan las ideas sigue siendo sorprendentemente limitada. Una razón de ello es que los resultados que nos importan no son necesariamente los mismos que priorizan las empresas tecnológicas. En última instancia, lo que quieren es que sus usuarios interactúen con sus productos de una manera tal que genere ingresos por publicidad. Esto se refleja en la forma en la que hablamos del contagio *online* . Tendemos a centrarnos en la cuantificación diseñada por las empresas de redes sociales («¿Cómo consigo más "me gusta"? ¿Cómo consigo que este comentario se haga viral?»), en lugar de en resultados que nos hagan verdaderamente más sanos, más felices o más exitosos.

Con las modernas herramientas informáticas, existe el potencial de obtener una comprensión sin precedentes del comportamiento social, si nos hacemos las preguntas correctas. La ironía, por supuesto, es que las preguntas que nos importan son también las que probablemente generen

controversias. Recuérdese el estudio sobre la propagación de las emociones en Facebook, en el que los investigadores alteraron el *feed* de noticias de los usuarios para mostrar comentarios más felices o más tristes. A pesar de las críticas al diseño y a la implementación de la investigación, los investigadores se estaban planteando una pregunta importante: ¿cómo afecta a nuestro estado emocional el contenido que vemos en las redes sociales?

Las emociones y la personalidad, son, por definición, temas emotivos y personales. En 2013, el psicólogo Michal Kosinski y sus colegas publicaron un estudio que sugería que era posible predecir rasgos de personalidad —como la extroversión y la inteligencia— a partir de las páginas de Facebook que miraba la gente. [613] Cambridge Analytica usaría posteriormente una idea similar para trazar el perfil de los votantes, algo universalmente criticado. [614] Tras publicar por primera vez su método, Kosinski y su equipo eran conscientes de que tendría usos alternativos no muy edificantes. En su artículo original, incluso anticiparon una posible reacción violenta en contra de las empresas tecnológicas. Los investigadores especularon que a medida que la gente se hacía más consciente de qué es lo que podía extraerse de sus datos, habría personas que acabarían rechazando la tecnología digital en su conjunto.

Si los usuarios no se sienten muy cómodos acerca de cómo se usan sus datos, los investigadores y las empresas tienen dos opciones. Una es simplemente no decir a los usuarios qué está pasando con sus datos. Enfrentadas a cuestiones de privacidad, muchas empresas tecnológicas han restado importancia a la recogida de datos que llevan a cabo y a los análisis que realizan con esos datos, temiendo una cobertura de prensa negativa y la indignación de los usuarios. Mientras tanto, los agentes de datos (de los cuales la mayoría de nosotros no habíamos oído nunca hablar) habían estado ganando dinero con la venta de datos (que no sabíamos que tenían) a investigadores externos (que no sabíamos que los estaban analizando). En estos casos, la asunción parece haber sido que si le cuentas a la gente lo que haces con sus datos, no te lo van a permitir. Gracias a nuevas leyes de privacidad como el Reglamento General de Protección de Datos europeo y la Ley de Privacidad del Consumidor de California, es más difícil llevar a cabo algunas de estas actividades. Pero si los equipos de investigación continúan pasando por alto los problemas éticos de sus análisis, se producirán más escándalos y la confianza se resentirá. Los usuarios serán

más renuentes a compartir sus datos, incluso para estudios que realmente valgan la pena, y los investigadores no querrán pasar por el esfuerzo y la controversia de analizarlos. [615] Como consecuencia de todo ello, nuestra comprensión del comportamiento —y los beneficios sociales y de salud que se derivarían de ello— se estancará.

La opción alternativa es incrementar la transparencia. En lugar de analizar las vidas de la gente sin su consentimiento, dejémosles sopesar riesgos y beneficios. Impliquémosles en los debates; pensemos más en términos de pedir permiso que de pedir disculpas. Si el objetivo son los beneficios sociales, hagamos que la investigación sea un esfuerzo social. El Servicio Nacional de Salud británico anunció su plan Care.data en 2013 con la esperanza de que un mejor reparto de los datos llevaría a mejores investigaciones en materia de salud. Tres años más tarde, el plan fue cancelado después de que los usuarios —y los médicos— perdiesen confianza en cómo se estaban usando los datos. En teoría, Care.data podría haber sido enormemente beneficioso, pero no parecía que los pacientes supiesen mucho del plan, o que confiasen en él. [616]

Quizá nadie autorizaría una investigación intensiva en datos si supiese lo que esa investigación implica. En mi experiencia, eso no es necesariamente así. A lo largo de la última década, mis colaboradores y yo hemos llevado a cabo varios proyectos de «ciencia ciudadana» que combinan investigaciones sobre contagio con discusiones más amplias sobre brotes, datos y ética. Hemos estudiado qué aspecto tienen las redes de interacciones, cómo el comportamiento social cambia a lo largo del tiempo y qué significa esto para las pautas de infección. [617] Nuestro proyecto más ambicioso fue un esfuerzo masivo de reunión de datos que llevamos a cabo en colaboración con la BBC en 2017-2018. [618] Pedimos al público que se descargasen una aplicación de móvil que rastreaba sus movimientos en un radio de un kilómetro durante un día, y también les pedimos un registro de sus interacciones sociales. Una vez que el estudio finalizase, esta base de datos ayudaría a conformar un recurso disponible para los investigadores. Para nuestra sorpresa, decenas de miles de personas se presentaron voluntarias, a pesar de que el proyecto no ofrecía unos beneficios inmediatos. Aunque solo era un estudio, muestra que se puede llevar a cabo un análisis de datos a gran escala de manera transparente y socialmente beneficiosa.

En marzo de 2018, la BBC emitió un programa titulado *Contagion* (Contagio), que se centraba en la base de datos inicial que habíamos reunido. No fue la única historia sobre recopilación de datos a gran escala que apareció en los medios esa misma semana; unos pocos días antes, había estallado el escándalo de Cambridge Analytica. Mientras que nosotros habíamos pedido a la gente que donase sus datos de forma voluntaria para ayudar a los investigadores a comprender los brotes de enfermedades, Cambridge Analytica había reunido supuestamente una cantidad enorme de datos de Facebook —sin el conocimiento de los usuarios— para ayudar a los políticos a influir en los votantes. [619] He aquí dos estudios del comportamiento, dos bases de datos masivas y dos resultados muy diferentes. Varios comentaristas captaron este contraste, entre ellos el periodista Hugo Rifkind en su reseña televisiva para *The Times* (Londres): «En una semana en la que todos nos hemos puesto de acuerdo para decir que la vigilancia de datos en internet —abucheos, silbidos— está arruinando el mundo, *Contagion* ha sido un recordatorio saludable de que también podría, de alguna manera, salvarlo un poquito». [620]

En el tiempo que le ha llevado leer este libro, unas trescientas personas habrán muerto de malaria. Habrá habido alrededor de quinientas muertes por VIH-sida y unas ochenta por sarampión, la mayoría de ellas niños. La melioidosis, una infección bacteriana de la que quizás no haya oído hablar nunca, habrá matado a más de sesenta personas. [621]

Las enfermedades infecciosas todavía causan enormes daños en todo el mundo. Además de amenazas conocidas, nos enfrentamos al riesgo siempre presente de una nueva pandemia, como la COVID-19, y a la creciente emergencia de las infecciones resistentes a los medicamentos. No obstante, a medida que mejora nuestro conocimiento de los contagios, las enfermedades infecciosas en general han disminuido. La tasa de mortalidad global de esas enfermedades casi se ha reducido a la mitad en las últimas dos décadas. [622]

A medida que las enfermedades infecciosas disminuyen, nuestra atención está orientándose gradualmente a otras amenazas, muchas de las cuales pueden también ser contagiosas. En 1950, la tuberculosis era la principal causa de muerte de un hombre británico de unos treinta años. Desde la década de 1980, ha pasado a ser el suicidio. [623] En los últimos años, la causa de muerte más probable de los jóvenes adultos en Chicago ha sido el

homicidio. [624] Y después están las más amplias cargas sociales generadas por el contagio. Cuando analicé la NekNomination en 2014, la transmisión *online* parecía una cuestión tangencial, casi una curiosidad. Tres años más tarde, estaba en todas las primeras páginas de la prensa, vinculada a la propagación de información falsa —y al papel de las redes sociales— y había llevado a múltiples investigaciones gubernamentales. [625]

A medida que se incrementa nuestro conocimiento de los contagios, muchas de las ideas desarrolladas en los estudios sobre enfermedades infecciosas se están aplicando a otros tipos de brotes. Tras la crisis financiera de 2008, los bancos centrales se aferraron a la idea de que una estructura de red podría amplificar el contagio, una teoría creada por los investigadores de las ETS en las décadas de 1980 y 1990. Esfuerzos recientes para tratar la violencia como una infección —más que simplemente como el resultado de la existencia de «malas personas»— recuerdan el rechazo en las décadas de 1880 y 1890 de la idea de que las enfermedades eran causadas por los «malos aires». Conceptos como el número de reproducción ayudan a los investigadores a cuantificar la propagación de las innovaciones y del contenido *online* , mientras que los métodos empleados para estudiar las secuencias de patógenos nos revelan cómo se produce la transmisión y la evolución de la cultura. A lo largo del camino, hemos encontrado nuevas formas de acelerar las ideas beneficiosas y ralentizar las dañinas. Tal como Ronald Ross esperaba en 1916, una moderna «teoría de los eventos» nos ayuda a analizar cualquier cosa, desde las enfermedades y el comportamiento social hasta la política y la economía.

En muchos casos, esto ha supuesto rechazar ideas populares acerca de cómo funcionan los brotes —como la idea de que necesitamos eliminar hasta el último mosquito para controlar la malaria o vacunar a cada persona para evitar las epidemias, o las asunciones de que los sistemas bancarios son naturalmente estables y de que el contenido *online* es altamente contagioso—. También significa que hay que buscar nuevas explicaciones: por qué aparecieron casos del síndrome de Guillain-Barré en las islas del Pacífico, por qué los virus informáticos son tan resistentes, por qué a la mayoría de las ideas les cuesta propagarse tan fácilmente como lo hacen las enfermedades.

En los análisis de los brotes, los momentos más importantes no suelen ser aquellos en los que tenemos razón. Son esas ocasiones en las que nos

damos cuenta de que estábamos equivocados. Cuando algo no parece estar bien: una pauta determinada nos llama la atención, una excepción rompe lo que pensábamos que era la regla. Ya queramos que una innovación despegue o que una infección disminuya, estos son los momentos que tenemos que experimentar lo antes posible. Los momentos que nos permiten desentrañar las cadenas de transmisión, buscar los eslabones más débiles, los eslabones perdidos, los eslabones inusuales. Los momentos que nos hacen mirar atrás, para averiguar cómo se produjeron los brotes del pasado. Y después mirar hacia delante, para cambiar la forma en la que sucedan en el futuro.

---

[587] Peterson Hill, N., *A Very Private Public Citizen: The Life of Grenville Clark* , Columbia, University of Missouri Press, 2016.

[588] Ham, P., «As Hiroshima smouldered, our atom bomb scientists suffered remorse», *Newsweek* , 5 de agosto de 2015.

[589] Ito, S., «Einstein's pacifist dilemma revealed», *The Guardian* , 5 de julio de 2005; «The Einstein letter that started it all: a message to President Roosevelt 25 years ago launched the atom bomb and the atomic age», *New York Times* , 2 de agosto de 1964.

[590] Clark, G., carta al editor, *New York Times* , 22 de abril de 1955.

[591] Dore, G. M. D. *et al.* , «Conclusion: politics is more difficult than physics», en G. M. D. Dore *et al.* (eds.), *Incomplete Democracies in the Asia-Pacific* , parte de la serie *Critical Studies of the Asia-Pacific* , Londres: Palgrave Macmillan, 2014.

[592] Harris, E. D. *et al.* , *Governance of Dual-Use Technologies: Theory and Practice* , informe de la American Academy of Arts and Sciences, 2016.

[593] Santi, P. *et al.* , «Quantifying the benefits of vehicle pooling with shareability networks», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* 2014; las otras referencias están recogidas en capítulos anteriores.

[594] Cadwalladr, C. *et al.* , «Revealed: 50 million Facebook profiles harvested for Cambridge Analytica in major data breach», *The Guardian* , 17 de marzo de 2018.

[595] Sumpter, S., *Outnumbered: From Facebook and Google to Fake News and Filter-Bubbles—The Algorithms That Control Our Lives* , Londres: Bloomsbury Sigma, 2018; Chen, A. *et al.* , «Cambridge Analytica's Facebook data abuse shouldn't get credit for Trump», *The Verge* , 20 de marzo de 2018, www.theverge.com/2018/3/20/17138854/cambridge-analytica-facebook-data-trump-campaign-psychographic-microtargeting.

[596] Zunger, Y., «Computer science faces an ethics crisis. The Cambridge Analytica scandal proves it», *Boston Globe* , 22 de marzo de 2018.

[597] Harkin, J., «"Big data", who owns the future», y «To save everything, click here», *Financial Times* , 1 de marzo de 2013; Harford, T., «Big data: a big mistake?», *Significance* , 1 de diciembre de 2014; McAfee, A. *et al.* , «Big data: the management revolution», *Harvard Business Review* , octubre de 2012.

[598] Ginsberg, J. *et al.* , «Detecting influenza epidemics using search engine query data», *Nature* , 2009.

[599] Olson, D. R. *et al.* , «Reassessing Google Flu Trends data for detection of seasonal and pandemic influenza: a comparative epidemiological study at three geographical scales», *PLOS Computational Biology* , 2013.

[600] Lazer, D. *et al.* , «The parable of Google Flu: traps in big data analysis», *Science* , 2014.

[601] OMS, «Pandemic influenza vaccine manufacturing process and timeline», nota informativa de la OMS, 2009.

[602] Petrova, V. N. *et al.* , «The evolution of seasonal influenza viruses», *Nature Reviews Microbiology* , 2017; Chakaborty, P. *et al.* , «What to know before forecasting the flu», *PLOS Computational Biology* , 2018.

[603] Buckee, C., «Sorry, Silicon Valley, but "disruption" isn't a cure-all», *Boston Globe* , 22 de enero de 2017.

[604] Farrar, J., «The key to fighting the next "Ebola" outbreak is in your pocket», *Wired* , 14 de diciembre de 2016; las otras referencias están incluidas en capítulos anteriores.

[605] OMS, «Declaración del brote de ébola en la República Democrática del Congo como emergencia de salud pública de importancia internacional», nota de prensa, 17 de julio de 2019, www.who.int/es/news-room/detail/17-07-2019-ebola-outbreak-in-the-democratic-republic-of-the-congo-declared-a-public-health-emergency-of-international-concern; Silberner, J. «Congo's fight against Ebola stalls after epidemiologist is shot dead», *British Medical Journal* , 2019.

[606] Ginsberg, M. *et al.* , «Swine influenza A (H1N1) infection in two children—Southern California, March-April 2009», *Morbidity and Mortality Weekly Report* , 2009.

[607] Cohen, J., «As massive Zika vaccine trial struggles, researchers revive plan to intentionally infect humans», *Science* , 12 de septiembre de 2018; Koopmans, M. *et al.* , «Familiar barriers still unresolved: a perspective on the Zika virus outbreak research response», *The Lancet Infectious Diseases* , 2018.

[608] Gordon, A. *et al.* , «Prior dengue virus infection and risk of Zika: a pediatric cohort in Nicaragua», *PLOS Medicine* , 2019.

[609] Grinberg, N. *et al.* , «Fake news on Twitter during the 2016 US presidential election», *Science* , 2019; Guess, A. *et al.* , «Less than you think: prevalence and predictors of fake news dissemination on Facebook», *Science Advances* , 2019; Lazer, D. M. J. *et al.* , «The science of fake news», *Science* , 2018; Wagner, K., «Inside Twitter's ambitious plan to change the way we tweet», *Recode* , 8 de marzo de 2019, www.vox.com/2019/3/8/18245536/exclusive-twitter-healthy-conversations-dunking-research-product-incentives; McCarthy, K., «Facebook, Twitter slammed for deleting evidence of Russia's US election mischief», *The Register* , 13 de octubre de 2017.

[610] Haldane, A. G., «Rethinking the financial network», discurso, Banco de Inglaterra, 28 de abril de 2009, www.bankofengland.co.uk/speech/2009/rethinking-the-financial-network; Consejo Editorial, «The US needs better data on gun violence», *Bloomberg* , 25 de octubre de 2018, www.bloomberg.com/opinion/articles72018-10-25/u-s-needs-better-data-on-gun-deaths-and-injuries.

[611] Citado en Greene, G., *The Woman Who Knew Too Much: Alice Stewart and the Secrets of Radiation* , Ann Arbor: University of Michigan Press, 2001.

[612] Buckee, C., presentación en la conferencia de Epidemics 6, 2017.

[613] Kosinski, M. *et al.* , «Private traits and attributes are predictable from digital records of human behavior», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* , 2013.

[614] Cadwalladr *et al.* , «Revealed». Nótese que a pesar de la aparente similitud en los métodos, Cambridge Analytica no trabajó con Kosinski.

[615] Alaimo, K., «Twitter's misguided barriers for researchers», *Bloomberg* , 16 de octubre de 2018, www.bloomberg.com/opinion(articles/2018-10-16/twitter-s-barriers-for-academic-researchers-are-misguided.

[616] Goldlee, F., «What can we salvage from Care.data?», *British Medical Journal* , 2016.

[617] Kucharski, A. J. *et al.* , «School's out: seasonal variation in the movement patterns of school children», *PLOS ONE* , 2015; Kucharski, A. J. *et al.* , «Structure and consistency of self-reported social contact networks in British secondary schools», *PLOS ONE* , 2018.

[618] «Contagion: the BBC Four pandemic», http://www.bbc.co.uk/pandemic.

[619] Oficina del Comisionado para la Información, «Investigation into the use of data analytics in political campaigns», *ICO Report* , 11 de julio de 2018.

[620] Rifkind, H., reseña del programa de la BBC *Contagion* , *The Times* (Londres), 24 de marzo de 2018.

[621] Asumiendo unas seis horas de lectura (es decir, doscientas veinticinco palabras por minuto). Datos: OMS, 2018, www.who.int; Dance, D. A. *et al.* , «Global burden and challenges of melioidosis», *Tropical Medicine and Infectious Disease* , 2018.

[622] Ha descendido de 291 por cada cien mil en 1990 a 154 por cada cien mil en 2016. Fuente: Ritchie, H. *et al.* , «Causes of death», *Our World in Data* , 2018.

[623] Gobierno del Reino Unido, *Health Profile for England: 2017* , https://www.gov.uk.

[624] Harper-Jemison, D. M. *et al.* , «Leading causes of death in Chicago», Departamento de Salud Pública de Chicago, Oficina de Epidemiología, 2006; Boletín de Hechos del Estado de Illinois, Red de Seguridad Infantil, Centro Nacional de Recursos para la Prevención de Traumatismos y Violencia, 2015, www.childrenssafetynetwork.org/sites/childrenssafetynetwork.org/files/Illinois%202015%20State%Fact%20Sheet.pdf.

[625] Oficina del Comisionado para la Información, «Investigation into the use of data analytics in political campaigns», DiResta, R. *et al.* , «The tactics and tropes of the Internet Research Agency», *New Knowledge* , 2018.

AGRADECI-
MIENTOS

AGRADECI-
MIENTOS

Me gustaría agradecer a todos aquellos que dedicaron una parte de su tiempo a compartir sus experiencias conmigo mientras estaba realizando la investigación para este libro: Lucy Aplin, Nim Arinaminpathy, Wendy Barclay, Barbara Casu, Nicholas Christakis, Toby Davies, Dean Eckles, Paul Fine, Jemma Geoghegan, Andy Haldane, Heidi Larson, Rosalie Liccardo Pacula, Kristian Lum, Brendan Nyhan, Andrew Odlyzko, Whitney Phillips, John Potterat, Charlie Romford, Gary Slutkin, Briony Swire-Thompson, Jamie Tehrani, Melissa Tracy, Alex Vespignani, Charlotte Watts y Duncan Watts. Gracias también a todos lo que me ayudaron a buscar datos históricos y documentos: Victoria Cranna y Alison Forsey en la Biblioteca y Archivos de la London School of Hygiene and Tropical Medicine (LSHTM), Liina Hultgren en la Royal Institution y Peter Vinten-Johansen en el John Snow Archive and Research Companion. Si hay errores en el texto definitivo, son exclusivamente míos.

He sido muy afortunado al contar con grandes mentores a lo largo de mi carrera, que me han animado a conectar con audiencias más amplias además de ayudarme en mi desarrollo como investigador: Julia Gog en la Universidad de Cambridge, Steven Riley en el Imperial College de Londres y John Edmunds en la LSHTM. Gracias también a tantos y tantos otros colaboradores y colegas con los que he trabajado y de los que he aprendido todos estos años. En particular, las ideas de este libro se han beneficiado directa e indirectamente de discusiones con mis brillantes colegas en el Centro de Modelos Matemáticos de Enfermedades Infecciosas en la LSHTM. Como todo divulgador científico sabrá, me enfrentaba al problema de que hay muchas más buenas investigaciones por ahí que las que podrían caber en un libro. Inevitablemente, he tenido que dejar fuera a varias personas y proyectos durante la fase de escritura y edición, y esto por supuesto no es un reflejo de mis opiniones sobre la calidad de su investigación.

También me gustaría agradecer a todos aquellos que han estado implicados en el proceso de redacción del libro. Mis excelentes editores, Cecily Gayford en Profile y Fran Barrie en la Wellcome Collection, me han proporcionado valiosas ideas y aportaciones a lo largo de todo el proceso. Gracias también a Joe Staines por su trabajo de corrección del manuscrito

final. Y a mi agente, Peter Tallack, por su apoyo y su consejo en todos estos años. Estoy agradecido a mis padres por todos sus comentarios a las versiones iniciales del manuscrito, así como a Clare Fraser, Rachel Humby, Munir Jahangir, Stephen Rice y Graham Wheeler por sus comentarios a los capítulos iniciales. Finalmente, me gustaría agradecer a mi increíble y siempre entusiasta esposa, Emily, a la que tuve la inmensa suerte de conocer mientras escribía mi último libro, y con la que tuve la inmensa suerte de casarme mientras escribía este.

LECTURAS ADICIONALES

LECTURAS ADICIONALES

Si quiere saber más sobre los temas cubiertos en este libro, a continuación se ofrecen sugerencias adicionales de artículos, documentos de trabajo y libros. Para asegurar su reproducibilidad, todos los datos y los códigos necesarios para generar las figuras del libro están disponibles en: https://github.com/adamkucharski/rules-of-contagion/.

Capítulo 01

Un trío de artículos de Paul Fine proporcionan información adicional sobre la teoría de los modelos mecanicistas y los conceptos resultantes, como la inmunidad de rebaño: «Ross's *a priori* pathometry: a perspective» (*Proceedings of the Royal Society of Medicine* , 1975); «John Brownlee and the measurement of infectiousness: an historical study in epidemic theory» (*Journal of the Royal Statistical Society: Series A* , 1979); «Herd immunity: history, theory, practice» (*Epidemiological Reviews* , 1993). Para una descripción más técnica del análisis de Ross y de su legado, véase el artículo de David Smith y sus colegas, «Ross, Macdonald, and a theory for the dynamics and control of mosquito-transmitted pathogens» (*PLOS Pathogens* , 2012).

Capítulo 02

El artículo de Donald MacKenzie y Taylor Spears, «The formula that killed Wall Street?: The Gaussian copula and the material cultures of modelling» (2012) proporciona una útil historia oral de los modelos tras las CDO. *El póquer del mentiroso* (Barcelona: Booket, 2019) y *La gran apuesta* (Barcelona: Debolsillo, 2018), ambos de Michael Lewis, escritos con veinte años de diferencia, explican cómo comenzó el comercio de las hipotecas y el caos que más adelante causaría. *When Genius Failed: The Rise and Fall of Long-Term Capital Management* (Nueva York: Random House, 2000), de Roger Lowenstein, cubre el colapso del fondo de inversión del mismo nombre.

Seeking the Positives: A Life Spent on the Cutting Edge of Public Health (autoedición, CreateSpace, 2015), de John Potterat, da más detalles sobre su trabajo acerca de cómo las redes sociales afectan a los brotes de gonorrea y otras ETS. Para una visión de conjunto más técnica de los modelos de

enfermedades, *Modeling Infectious Diseases in Humans and Animals* (Princeton, Nueva Jersey: Princeton University Press, 2007), de Matt Keeling y Pej Rohani, ha sido un libro de texto esencial para mí desde que lo leí por primera vez siendo un estudiante universitario.

El discurso de Andy Haldane «Rethinking the financial network» (Banco de Inglaterra, 2009, transcripción disponible en www.bankofengland.co.uk/speech/2009/rethinking-the-financial-network) analizaba en el momento adecuado los vínculos entre la ecología, la epidemiología y los mercados financieros. Su artículo con Robert May, «Systemic risk in banking ecosystems» (*Nature* , 2011), expandió estas ideas con más detalle técnico.

Capítulo 03

Conectados (Barcelona: Taurus, 2010), de Nicholas Christakis y James Fowler, describe la investigación sobre la dinámica de las redes sociales, incluidos sus estudios sobre la propagación de la obesidad y otras características. Su posterior artículo «Social contagion theory: examining dynamic social networks and human behavior» (*Statistics in Medicine* , 2013) discute las críticas a su investigación y los desafíos técnicos asociados a la estimación del contagio social. El libro de Damon Centola *How Behavior Spreads: The Science of Complex Contagions* (Princeton, Nueva Jersey: Princeton University Press, 2018) se refiere a su trabajo sobre el contagio complejo, así como a otras ideas derivadas de estudios del comportamiento a gran escala. «Randomized experiments to detect and estimate social influence in networks» (*Complex Spreading Phenomena in Social Systems* , 2018), de Sean Taylor y Dean Eckles, es una útil revisión técnica de los enfoques de estudio del contagio social.

Se pueden encontrar ideas adicionales derivadas de los estudios de la Natsal en el libro de David Spiegelhalter, *Sex by Numbers: What Statistics Can Tell Us About Sexual Behavior* (Londres: Wellcome Collection, 2015). «Culture and cultural evolution in birds: a review of the evidence» (*Animal Behavior* , 2019), de Lucy Aplin, proporciona una visión general del desarrollo cultural en animales, con una atención especial a las aves.

Capítulo 04

Para una discusión adicional y estudios de caso sobre la propagación de la violencia, incluidas contribuciones de Carl Bell, Gary Slutkin y Charlotte

Watts, véanse los trabajos publicados en *Contagion of Violence: Workshop Summary* , parte del Foro sobre Prevención de la Violencia Global (National Academies Collection, 2013).

Smallpox: The Death of a Disease—The Inside Story of Eradicating a Worldwide Killer (Nueva York: Prometheus, 2009), de D. A. Henderson, ofrece un relato de primera mano sobre cómo se empleó el rastreo de los contactos y la creación de un anillo de vacunaciones para erradicar la viruela. El artículo de Neil Ferguson y sus colegas «Planning for smallpox outbreaks» (*Nature* , 2003) se refiere a las formas de modelizar la viruela y otras infecciones emergentes, así como sus limitaciones. «Avoidable errors in the modelling of outbreaks of emerging pathogens, with special reference to Ebola» (*Proceedings of the Royal Society B* , 2015), de Aaron King y sus colegas, proporciona una descripción de algunos problemas técnicos en la predicción de los brotes de enfermedades infecciosas.

Armas de destrucción matemática. Cómo el big data *aumenta la desigualdad y amenaza la democracia* (Madrid: Capitán Swing, 2018), de Cathy O'Neil, destaca los prejuicios y los sesgos inherentes en muchos algoritmos usados comúnmente, por ejemplo, en los empleados por la policía. *Hola mundo. Cómo seguir siendo humanos en la era de los algoritmos* (Barcelona: Blackie Books, 2019), de Hannah Fry, contiene más información sobre los roles —y los riesgos— de los algoritmos en la vida moderna.

Capítulo 05

El libro de Duncan Watts *Everything is Obvious: Why Common Sense Is Nonsense* (Londres: Atlantic Books, 2011) contiene algunas ideas útiles sobre los desafíos a los que se enfrentan los análisis y las predicciones del comportamiento social *online* . Su artículo posterior con Jake Hofman y Amit Sharma, «Prediction and explanation in social systems» (*Science* , 2017), desarrolla los aspectos técnicos de esta investigación. El artículo de Justin Cheng y sus colegas «Do diffusion protocols govern cascade growth?» (presentado en la conferencia AAAI, 2018) proporciona un desglose basado en datos de los componentes del número de reproducción del contenido *online* . El archivo de Facebook Research (https://research-fb.com/publications) contiene muchos otros artículos que examinan la propagación *online* de comportamientos y contenidos.

El informe de Whitney Phillips *The Oxygen of Amplification: Better Practices for Reporting on Extremism* (Data and Society, 2018, https://datasociety.net/wp-content/uploads/2018/05/FULLREPORT_Oxygen_of_Amplification_DS.pdf) proporciona un resumen valioso de los esfuerzos de manipulación de los medios y las formas potenciales de combatirlos. *Zucked: Waking Up to the Facebook Catastrophe* (Nueva York: HarperCollins, 2019), de Roger McNamee, analiza el lado negativo de las redes sociales, e incluye detalles adicionales sobre el trabajo de Tristan Harris y Renée DiResta. «Protecting elections from social media manipulation» (*Science* , 2019), de Sinan Aral y Dean Eckles, ofrece sugerencias sobre formas de medición rigurosa de manipulación *online* y sus potenciales implicaciones para las elecciones.

Capítulo 06

Para más detalles sobre los orígenes y el resultado del ataque de Mirai, véanse los dos artículos escritos por Garrett Graff para *Wired* : «How a dorm room Minecraft scam brought down the internet» (2017), y «The Mirai botnet architects are now fighting crime with the FBI» (2018). Artículos de referencia como «Computer viruses: theory and experiments» (1984), de Fred Cohen, y «How to own the internet in your spare time» (*Proceedings of the 11th USENIX Security Symposium* , 2002), de Stuart Staniford y sus colegas, contienen más detalles técnicos sobre la historia de los virus y los gusanos. *Linked: The New Science of Networks* (Nueva York: Perseus, 2002), de Albert-László Barabási, describe la historia de la teoría de las redes, incluido cómo influyen las redes en los brotes de *malware* .

Capítulo 07

«Towards a genomics-informed, real-time, global pathogen surveillance system» (*Nature Reviews Genetics* , 2018), de Jennifer Gardy y Nick Loman, revisa cómo las herramientas para extraer secuencias pueden usarse para diagnosticar y rastrear enfermedades. «Outbreak analytics: a developing data science for infor ming the response to emerging pathogens» (*Philosophical Transactions of the Royal Society B* , 2019), de Jonny Polonsky y sus colegas, analiza los usos de la ciencia de los datos durante los brotes, así como en qué ámbitos hay espacio para la mejora.

Vale la pena leer las entradas de blog originales de Anthony Tockar «Differential privacy: the basics» y «Riding with the stars: passenger

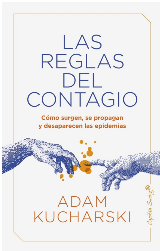
privacy in the NYC taxicab dataset», para obtener una descripción más detallada del análisis de los taxis de Nueva York y sus implicaciones. *Bit by Bit: Social Research in the Digital Age* (Princeton, Nueva Jersey: Princeton University Press, 2018), de Matthew Salganik, proporciona una meditada visión de conjunto de las cuestiones éticas y lógicas asociadas a la moderna investigación sobre el comportamiento social.

Capítulo 08

El libro de David Sumpter *Outnumbered: From Facebook and Google to Fake News and Filter-Bubbles* (Londres: Bloomsbury, 2018) evalúa la plausibilidad estadística de las afirmaciones sobre los algoritmos *online* , centrándose especialmente en el escándalo de Cambridge Analytica. *Getting to Zero: A Doctor and a Diplomat on the Ebola Frontline* (Londres: Zed Books, 2018), de Sinead Walsh y Oliver Johnson, nos ofrece un relato de primera mano de la política, la logística y los costes humanos asociados a la respuesta a la epidemia de ébola en África Occidental.

Índice

Las reglas del contagio



Un virus mortal se extiende repentinamente en la población, un movimiento político se acelera y luego desaparece rápidamente, una idea avanza como un incendio forestal, cambiando nuestro mundo para siempre… El mundo está más interconectado que nunca, nuestras vidas están formadas por brotes de enfermedades, de desinformación o incluso de violencia que aparecen, se propagan y se desvanecen a una velocidad desconcertante. Los brotes parecen estar impulsados por la aleatoriedad y leyes ocultas, y para comprenderlas debemos comenzar a pensar como matemáticos. El epidemiólogo Adam Kucharski ofrece explicaciones sobre el comportamiento humano y sobre cómo podemos mejorar para predecir lo que sucederá a continuación, y nos revela cómo los nuevos enfoques matemáticos están transformando lo que sabemos sobre el contagio, desde las iniciativas revolucionarias que ayudaron a abordar la violencia armada en Chicago hasta la verdad detrás de la difusión de noticias falsas. Y en el camino, explica cómo las innovaciones y las emociones pueden extenderse a través de nuestras redes de amistad, lo que las enfermedades de transmisión sexual nos pueden decir sobre la banca y por qué algunas predicciones de brotes se equivocan.

Adam Kucharski. Reino Unido, 1986.
Profesor asociado y miembro del Departamento de Epidemiología de Enfermedades Infecciosas de la Escuela de Higiene y Medicina Tropical de Londres. Su investigación utiliza modelos matemáticos y estadísticos para comprender los brotes de enfermedades y los efectos del comportamiento social y la inmunidad en la transmisión y el control. De 2013 a 2017 obtuvo un Premio de Desarrollo Profesional del Consejo de Investigación Médica en Bioestadística. Gran parte de su trabajo consiste en desarrollar nuevos enfoques matemáticos y estadísticos para comprender la dinámica de los brotes de enfermedades infecciosas, y está particularmente interesado en cómo combinar diferentes fuentes de datos para descubrir la dinámica de transmisión y el impacto de las intervenciones. Esta investigación cubre infecciones de transmisión directa como la gripe y el ébola, así como los arbovirus como el dengue y el virus del Zika. La participación pública también es una parte importante de su trabajo: además de organizar eventos en escuelas, museos y festivales, ha trabajado en varios proyectos que vinculan la ciencia ciudadana con la recopilación de datos a gran escala. Es miembro de TED y ganador en 2016 del Premio Rosalind Franklin a la Mejor Conferencia y del Premio Wellcome Trust Science Writing 2012. Ha escrito para medios como *The Observer, Financial Times, Scientific American* y *New Statesman.*

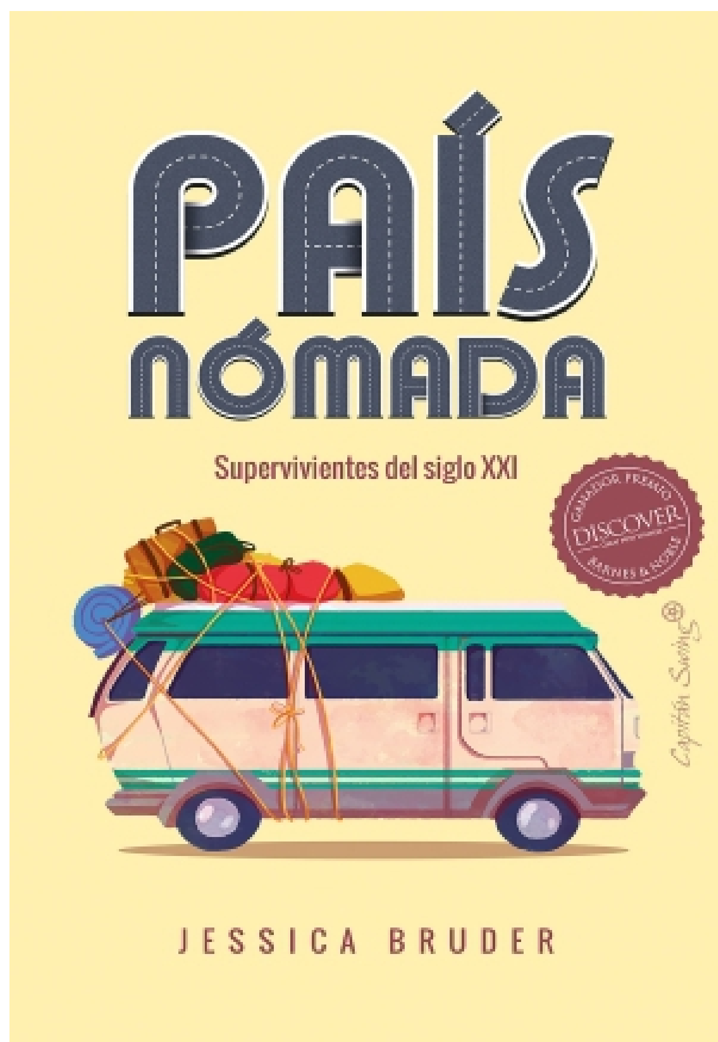
Título original: *The Rules of Contagion: Why Things Spread and Why They Stop*

Edición en ebook: agosto de 2020

c/ Rafael Finat 58, 2º 4 - 28044 Madrid
Tlf: (+34) 630 022 531
28044 Madrid (España)
contacto@capitanswing.com
www.capitanswing.com

ISBN: 978-84-12226-46-1

Diseño de colección: Filo Estudio - www.filoestudio.com
Corrección ortotipográfica: Victoria Parra Ortiz
Composición digital: leerendigital.com



País Nómada

Bruder, Jessica
9788412232400
328 P�ginas

[C�mpralo y empieza a leer]

Desde los campos de remolacha de Dakota del Norte hasta los campamentos de National Forest de California y el programa CamperForce de Amazon en Texas, los empleadores han descubierto un nuevo grupo de

mano de obra de bajo costo, compuesto principalmente por temporeros estadounidenses adultos.

Al descubrir que el Seguro Social se queda corto y ahogados por las hipotecas, decenas de miles de estas víctimas invisibles de la Gran Recesión se han echado a la carretera en vehículos recreativos, remolques de viaje y furgonetas, formando una creciente comunidad de nómadas: migrantes trabajadores que se autodenominan workampers. En un vehículo de segunda mano que bautiza "Van Halen", Jessica Bruder sale a la carretera para conocer a estos sujetos más de cerca.

Acompañando a su irreprimible protagonista Linda May y a otras personas en la limpieza de inodoros de un campamento, en el escaneo de productos en un almacén, en reuniones en el desierto y en el peligroso trabajo de la cosecha de remolacha, Bruder relata una historia convincente y reveladora sobre el oscuro vientre de la economía estadounidense, que presagia el precario futuro que puede esperarnos a muchos más.

Pero, al mismo tiempo, celebra la excepcional capacidad de recuperación y creatividad de estos estadounidenses que han renunciado al arraigo ordinario para sobrevivir. Como Linda May, que sueña con encontrar tierras en las que construir su propia casa sostenible "Earthship", son personas que no han perdido la esperanza.



El sonido de un caracol salvaje al comer

Tova Bailey, Elisabeth
9788412064476
152 P�ginas

C�mpralo y empieza a leer

Mientras una enfermedad la mantiene postrada en la cama, Elisabeth Tova Bailey observa un caracol salvaje que se ha instalado en su mesita de noche.
Como resultado, descubre el consuelo y la sensación de asombro que despierta esta misteriosa y magnífica criatura y llega a una mayor comprensión de su propio lugar en el mundo. Intrigada por la anatomía de molusco del caracol, las defensas crípticas, la clara toma de decisiones, la locomoción hidráulica y las actividades de cortejo, Bailey se convierte en una observadora astuta y divertida que ofrece una mirada sincera y cautivadora a la curiosa vida de este pequeño y subestimado animal.
El sonido de un caracol salvaje al comer es un ensayo ligero y de una belleza honesta sobre la enfermedad, la recuperación y cómo a veces son las pequeñas cosas que ocurren en nuestras vidas las que nos hacen darnos cuenta de lo que realmente importa y de quiénes somos. **Un extraordinario y profundamente conmovedor viaje de supervivencia y capacidad de recuperación** , destinado a convertirse en un clásico, que nos muestra cómo una pequeña parte del mundo natural puede iluminar nuestra propia existencia humana, a la vez que proporciona una apreciación de lo que significa estar plenamente vivo.



La gran gripe

Barry, John M.
9788412232417
688 P�ginas

C�mpralo y empieza a leer

El arma más fuerte contra la pandemia es la verdad. He aquí el relato definitivo de la epidemia de gripe de 1918.

Magistral en su amplitud de perspectiva y profundidad de investigación, La gran gripe nos proporciona un modelo preciso y esclarecedor ahora que nos enfrentamos a nuevas pandemias.

Como concluye Barry: "La última lección de 1918, una simple pero la más difícil de ejecutar, es que los que tienen autoridad deben conservar la confianza del público. La forma de hacerlo es no distorsionar nada, no tratar de poner la mejor cara, tratar de no manipular a nadie. Lincoln lo dijo el primero y lo dijo mejor. Un líder debe hacer concreto cualquier horror que exista. Solo entonces la gente podrá desarmarlo".

En el apogeo de la Primera Guerra Mundial, el virus de la gripe más letal de la historia estalló en un campamento del Ejército estadounidense en Kansas, se trasladó al este con las tropas, luego explotó y mató a unos cien millones de personas en todo el mundo. Mató a más personas en veinticuatro meses que lo que el sida ha asesinado en veinticuatro años, más en un año que la gente muerta por la peste negra en un siglo. Pero esto no era la Edad Media, y 1918 marcó la primera colisión de la ciencia y la enfermedad epidémica.

La gran gripe es, en última instancia, una historia de triunfo en medio de la tragedia.



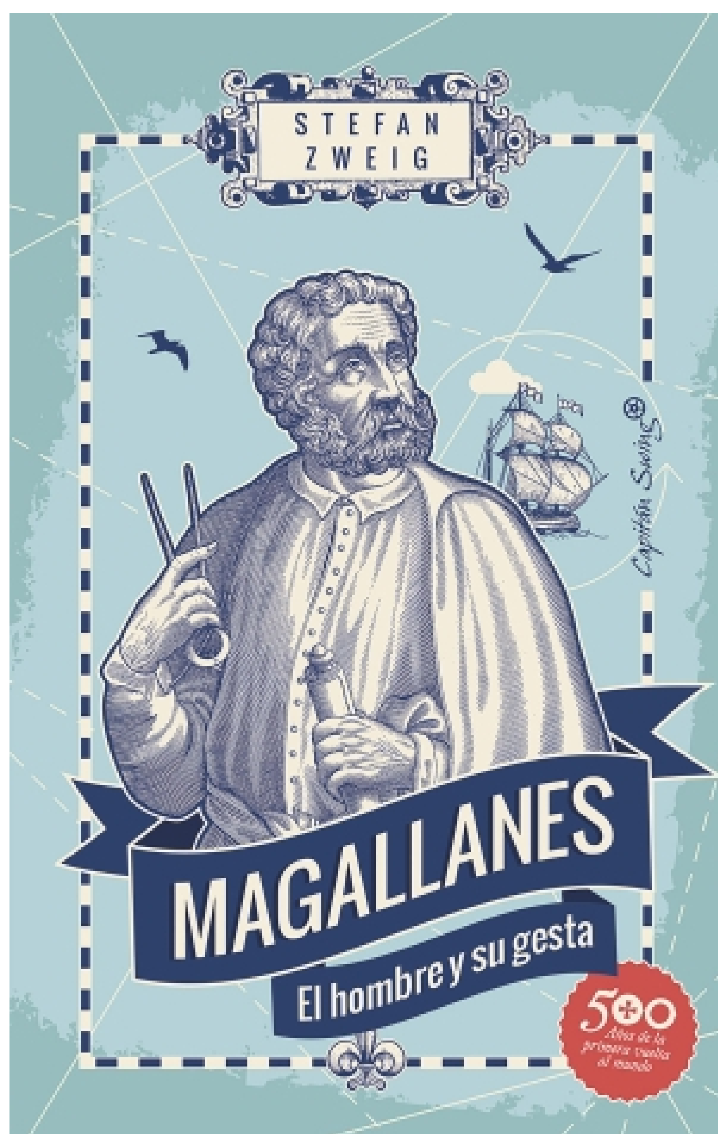
Por qué dormimos

Walker, Matthew
9788412099362
416 P�ginas

Dormir es uno de los aspectos más importantes pero menos comprendidos de nuestra vida.

Hasta hace muy poco, la ciencia no tenía respuesta a la pregunta de por qué dormimos, a qué servía o por qué sufrimos consecuencias tan devastadoras para la salud cuando está ausente. En comparación con los otros impulsos básicos de la vida (comer, beber y reproducir), el propósito del sueño sigue siendo más difícil de descifrar.

Matthew Walker ofrece una exploración revolucionaria del sueño, examinando cómo afecta cada aspecto de nuestro bienestar físico y mental.



Magallanes

Zweig, Stefan
9788412083064
264 P�ginas

C�mpralo y empieza a leer

En 1518, un cuarto de siglo después de Cristóbal Colón, un exiliado portugués, Magallanes, logró convencer al rey de España, Carlos I, de que le proporcionara una flota con el fin de explorar el mar que separaba Asia de América, el continente descubierto por Colón unos años antes.
A sus treinta y nueve años, estaba al mando de una flota de cinco barcos y 265 hombres, y comenzaba un episodio que marcaría la historia de la navegación y de la humanidad. Regresó tres años después en un barco improvisado, con solo dieciocho hombres. Un motín, frío, hambre, rivalidad, errores cartográficos…, de nada se salvará el célebre aventurero.
Con su prosa fluida y elegante, **Zweig narra la experiencia de Magallanes como una gran novela de aventuras** , en el que sigue siendo el relato más bello sobre este viaje.
Cuidadosamente documentada, la reconstrucción de su hazaña es un brillante cuadro de las condiciones económicas y políticas a comienzos del siglo XVI, y rinde tributo a la hazaña de un genio apasionado, que con unos insignificantes barcos dio la vuelta al globo, demostrando por primera vez su redondez.